



MV-TMM: Une approche multi vues pour la gestion de la traçabilité des exigences

Hamid Elghazi, Hamid El-Ghazi

► To cite this version:

Hamid Elghazi, Hamid El-Ghazi. MV-TMM: Une approche multi vues pour la gestion de la traçabilité des exigences. Informatique [cs]. Centre de recherche informatique, 2009. Français. NNT: . tel-01137701

HAL Id: tel-01137701

<https://theses.hal.science/tel-01137701>

Submitted on 31 Mar 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PARIS I – SORBONNE

Spécialité : **INFORMATIQUE**

Présentée par

Hamid EL GHAZI

Pour l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS I - SORBONNE

Sujet de la thèse :

MV-TMM: Une approche multi vues pour la gestion de la traçabilité des exigences

Soutenue le 13 juillet 2009 devant le jury composé de

Mme Colette ROLLAND	Directeur de thèse
Mme Corine CAUVET	Rapporteur
M. Jean-Pierre GIRAUDIN	Rapporteur
Mme Carine SOUVEYET	Membre du jury
M. Saïd ASSAR	Membre du jury

Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer mes vifs remerciements à Colette Rolland, Professeur à l'Université de Paris 1 Panthéon - Sorbonne pour la confiance qu'elle m'a témoignée en m'accueillant dans son équipe et en acceptant la direction scientifique de mes travaux. Je lui suis reconnaissante de m'avoir fait bénéficier tout au long de ce travail de sa grande compétence, de sa rigueur intellectuelle.

Je tiens à remercier Monsieur Saïd ASSAR, Maître de conférences à Institut TELECOM Sud Paris pour sa disponibilité, ses conseils et son soutien pendant ma thèse.

Je remercie sincèrement Madame Corine Cauvet, Professeur à l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3, et Monsieur Jean-Pierre GIRAUDIN, Professeur à l'Université de Grenoble, qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs. Je les remercie pour l'application avec laquelle ils ont lu mon manuscrit et toutes les questions, riches d'intérêt, qu'ils ont pu soulever.

Je remercie également Madame Carine SOUVEYET, Professeur à l'Université de Paris 1 Panthéon - Sorbonne pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Je voudrais remercier tous mes amis et connaissances. J'adresse tout d'abord mes remerciements aux thésards au CRI, en particulier Hicham, Ramzi, Usman, Sanaa, Oumaima etc. Ainsi qu'à mes collègues chez STAGO qui m'ont accompagnée pendant des mois, Faissal, Sven, que j'ai croisés quasi-quotidiennement et avec qui j'ai eu l'occasion et le plaisir de partager des pauses café sympathiques.

Je tiens à dédié une pensée particulière à mes parents pour leurs prières et leurs encouragements sans faille. Un remerciement est également dédié à mes frères et aux membres de ma grande famille.

RESUME

Je voudrais tout d'abord exprimer mes vifs remerciements à Colette Rolland, Professeur à l'Université de Paris 1 Panthéon - Sorbonne pour la confiance qu'elle m'a témoignée en m'accueillant dans son équipe et en acceptant la direction scientifique de mes travaux. Je lui suis reconnaissante de m'avoir fait bénéficier tout au long de ce travail de sa grande compétence, de sa rigueur intellectuelle.

Après une étude de l'état de l'art dans le domaine de la traçabilité des exigences, nous avons constaté que la gestion de la traçabilité a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. Malgré ces travaux, nous avons constaté que les entreprises rencontrent encore des difficultés à intégrer la traçabilité dans leurs processus de développement. Cela est dû au manque de mécanisme de représentation des différents types d'informations de traçabilité ainsi qu'à la méconnaissance du processus de traçabilité des exigences dans un projet.

Le travail de cette thèse propose une solution dénommée MV-TMM (un démarche multi vues pour la gestion de la traçabilité) composée de deux éléments principaux : (i) un méta modèle multi vues permettant la représentation des différents types d'informations de traçabilité et (ii) un processus intentionnel décrivant les étapes nécessaires pour la construction et l'usage des informations de traçabilité.

Le méta modèle de la démarche MV-TMM est multi vues car il représente les différents points de vue d'utilisation des informations de traçabilité dans un projet. En outre, le contenu du méta modèle décrit quatre dimensions liées au domaine de la traçabilité des exigences : la dimension contexte projet, la dimension point de vue, la dimension élément de trace et la dimension de lien de traçabilité.

En plus du méta modèle, la démarche MV-TMM propose également un processus composé de deux étapes principales. Une première étape se focalise sur la construction d'un modèle de traçabilité qui s'adapte au contexte d'un projet. La deuxième étape se préoccupe, quant à elle, du guidage de la capture et de l'utilisation des informations de traçabilité.

ABSTRACT

Previous research work on requirement traceability focuses on different aspects of this domain. The proposed methods capture only particular kind of traceability information. Indeed, the current techniques for tracing requirements are not adapted to the context of a global development project and do not take into account the different disciplines and points of view in a project. This problem is due to (1) the multi perspectives nature of traceability (ie requiring the capture of several categories of information), (2) and the fact that it is linked to various System Engineering disciplines (requirements engineering, design methods, strategy for project management, development, testing and validation, etc.).

Thus, the companies still find difficulties in integrating the traceability in their project activities. They also consider this activity an expensive exercise compared to the benefit that it generates.

The approach MV-TMM (Multi View Traceability Management Method) presented in this thesis aims to guide the companies in their design of requirements traceability models adapted to the context of their projects. This is achieved by allowing the construction of a model based on trace fragments adapted to each phase of the development process or to a specific situation. Furthermore, the approach guides the users to use the traceability model in a requirement management tool. They help them capture and manage the evolution of the traceability data.

Our thesis propose a generic meta model which manages multiple forms of traceability encountered in a project, they also integrates the various concepts used in the existing approaches. The Meta model is multi perspectives, in other words, taking into account the different perspectives associated with requirements traceability, and represents traceability information respecting the peculiarity of each one.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : INTRODUCTION	8
1 Contexte de la thèse	8
2 Problématique de la thèse	11
2.1 Absence de démarche d'identification des besoins de traçabilité dans une entreprise	11
2.2 Prise en compte incomplète des informations de traçabilité dans les modèles proposés	12
2.3 Nécessité d'adapter le modèle aux particularités d'un projet	12
2.4 Manque de guidage méthodologique des utilisateurs dans la gestion de la traçabilité	13
2.5 Méconnaissance du cycle de traçabilité dans les projets de développement	13
3 Objectifs et hypothèses de recherche	14
3.1 Hypothèse 1: La nécessité d'un méta modèle universel	14
3.2 Hypothèse 2: L'importance des points de vue	14
3.3 Hypothèse 3: Le besoin de guidage	15
4 Résultats de la thèse	15
5 Méthode de recherche et environnement de travail	17
6 Plan du mémoire	18
CHAPITRE II: ETAT DE L'ART	19
1 Introduction	19
2 Cadre de référence des approches de traçabilité des exigences	20
2.1 Vue Forme	22
2.2 Vue Contenu	22
2.3 Vue Objectif	24
2.4 Vue Cycle de vie	25
2.5 Résumé	26
3 Positionnement de six approches au moyen du cadre de référence	27
3.1 Les modèles de référence	27
3.2 Une approche orientée contribution	30
3.3 Une approche orientée méthode (OM)	34
3.4 Une approche de traçabilité à base de scénarios (SBT)	38
3.5 Une approche de traçabilité à base d'évènement (EBT)	40
3.6 Une approche de traçabilité à base de recherche documentaire (IR)	42
4 Les outils de traçabilité dans le commerce	44
5 Conclusion	46
CHAPITRE III: LE META MODELE DE TRAÇABILITE MV-TMM	49

1	Introduction	49
2	Principes régissant le méta modèle de traçabilité MV-TMM	50
2.1	La prise en compte des besoins spécifiques de chaque situation d'un projet	50
2.2	Multi perspectives	51
2.3	La représentation des différentes catégories d'informations de traçabilité	52
2.4	L'utilisation du principe d'abstraction	53
3	Description détaillée du méta modèle	54
3.1	L'élément Projet	55
3.2	L'élément Besoin de traçabilité	57
3.3	L'élément Point de vue	58
3.4	L'élément Fragment de trace	59
3.5	Les éléments de traçabilité	60
4	Conclusion	78
	 CHAPITRE IV : LA DEMARCHE MV-TMM	 80
1	Introduction	80
2	La carte MAP comme méta modèle de Processus	81
2.1	Notion de directive	82
2.2	Types de directives	83
3	Carte MAP de la démarche « MV-TMM »	91
3.1	Conventions de codification d'une hiérarchie de cartes	91
3.2	Introduction de la carte MV-TMM	93
4	Progresser depuis Démarrer	95
5	Construction du modèle de traçabilité	96
5.1	Progresser vers Construire un modèle de traçabilité	97
5.2	Construire un modèle de traçabilité par conception guidée	97
5.3	Construire le modèle de traçabilité à la volée	130
5.4	Optimiser le modèle de traçabilité	131
6	Exploitation du modèle de traçabilité	133
6.1	Exploiter le modèle de traçabilité, par capture de la trace	134
6.2	Exploiter le modèle de traçabilité par réutilisation	140
6.3	Exploiter le modèle de traçabilité par structuration de la trace	141
6.4	Exploiter le modèle de traçabilité par analyse de la trace	143
6.5	Construire un modèle de traçabilité par mise à jour	148
7	Arrêter le processus de la carte MV-TMM	149
8	Conclusion	150
	 CHAPITRE V: APPLICATION DE LA METHODE MV-TMM (CAS DE L'ENTREPRISE DIAGNOSTICA STAGO)	 152

1	Introduction	152
2	Introduction à l'étude de cas	153
3	Rappel de la carte MV-TMM	153
4	Déroulement de la carte MV-TMM	154
4.1	Construire le modèle de traçabilité	154
4.2	Définition du besoin de traçabilité du projet STG	155
4.3	Construire un modèle de traçabilité multi vues	164
5	Capture et exploitation des informations de traçabilité	177
5.1	Capture des informations de traçabilité	177
5.2	Exploitation des informations de traçabilité	180
5.3	Arrêter le processus de la carte MV-TMM par analyse de la valeur	184
6	Discussions sur la validité des hypothèses	185
7	Conclusion	186
 CHAPITRE VI : FONCTION D'EVALUATION ORIENTEE COUT/VALEUR DU BESOIN DE TRAÇABILITE		 188
1	Introduction	188
2	Rappel de la méthode AHP	189
3	Le processus d'évaluation coût/valeur	190
3.1	Estimation de la valeur des besoins de traçabilité	190
3.2	Estimation du coût des besoins de traçabilité	191
4	Exemple d'application	192
4.1	Capture du besoin	192
4.2	Evaluation de la valeur du besoin	193
4.3	Evaluation du coût du besoin	194
5	Conclusion	200
 CHAPITRE VII :CONCLUSION ET PERSPECTIVES		 202
1	Contribution	202
2	Perspectives	204
 ANNEXE: LA METHODE AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)		 207
 REFERENCES		 212

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1 Contexte de la thèse

La question de la traçabilité se pose dans tout projet d'ingénierie des SI. Tous les acteurs du projet éprouvent à un moment ou à un autre le besoin de savoir et de comprendre pourquoi et par qui telle exigence a été émise, comment elle a été traduite dans la conception du système et par quel(s) fragments(s) du produit final elle a été implantée. Ce besoin s'accroît lorsque les exigences initiales et/ou le système final évoluent. Pour estimer l'impact d'une modification des besoins sur le système et sur son usage, une information minimale de traçabilité est indispensable. Négliger cette traçabilité ou capturer des traces insuffisantes et/ou non structurées mène à une diminution de la qualité globale d'un système [Ramesh et al., 97]. Elle entraîne généralement des révisions inutiles et l'augmentation du coût et du temps de développement [Dick, 05].

Dans ce contexte, il est essentiel d'établir et de maintenir la traçabilité des exigences ainsi que celle des différents livrables produits (ou utilisés) durant le processus de conception et de réalisation d'un système. L'utilisation de la traçabilité des exigences dans un projet aide à mieux maîtriser l'évolution des exigences et permet d'assurer la conformité des systèmes développés avec les exigences initiales [Cleland-Huang, 06].

Le glossaire standard de l'IEEE de la terminologie d'ingénierie logicielle [IEEE, 90] définit la traçabilité des exigences comme : (1) la nature de la relation établie entre deux produits ou plus, d'un processus de développement et particulièrement les produits ayant une relation en amont et en aval. Par exemple, la nature du lien entre les exigences des clients et la conception d'un composant logiciel (lien de satisfaction, de justification, etc.); (2) le degré d'une relation qu'établit chaque élément dans un produit de développement pour justifier sa raison d'exister. Par exemple, le degré avec lequel chaque élément dans un diagramme de conception met en référence l'exigence qu'il satisfait (pourcentage de satisfaction).

La figure ci-dessous illustre un exemple de relation de traçabilité entre une exigence avec un artefact dans les deux directions amont et aval.

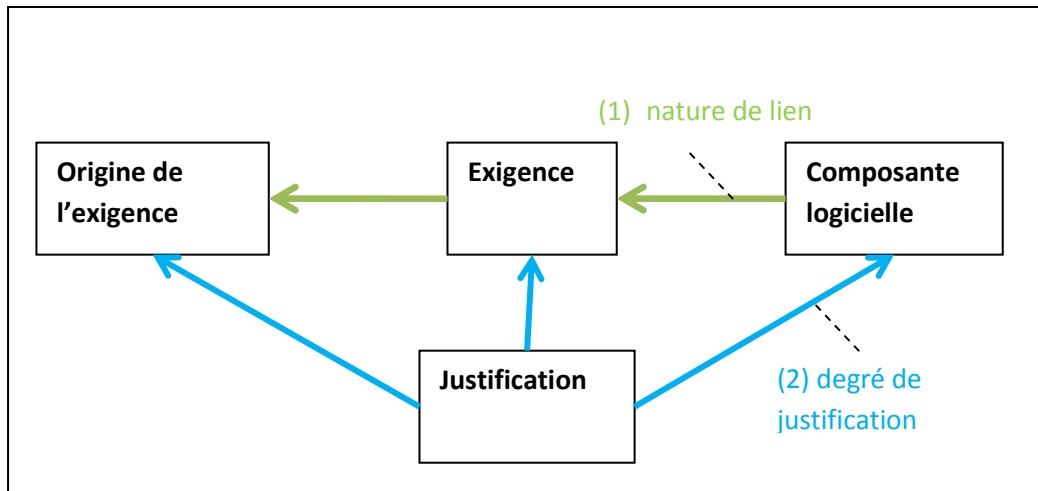


Figure 1 : Degré des liens de traçabilité

Gotel et Finkelstein [Gotel, 94] définissent la traçabilité des exigences comme « l'effort de description et de suivi de la vie d'une exigence, dans les deux directions en amont et en aval (c.-à-d. depuis ses origines, à travers son développement et sa spécification, jusqu'à son déploiement et son utilisation, et aussi à travers toutes les périodes d'évolution et d'itération)».

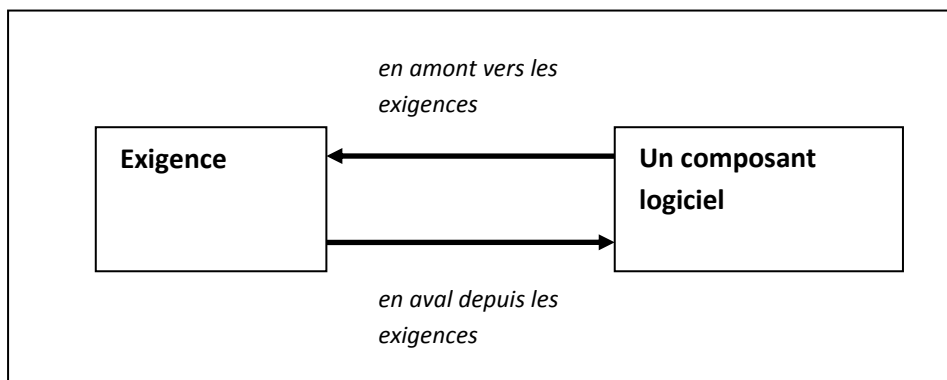


Figure 2 : Directions des liens de traçabilité

Cette définition met davantage l'accent sur les directions des liens de traçabilité que nous trouvons dans ce domaine. Elle est citée dans la plupart des travaux sur la traçabilité des exigences.

Le travail de cette thèse adopte les deux définitions car elles permettent d'exprimer les différents aspects de traçabilité rencontrés dans les projets industriels qui constituent le contexte de notre étude de cas.

Alors que la plupart des standards d'ingénierie, tels que MIL-STD-2167-A, IEEE/EIA 12207, ISO/IEC 12207 et MIL-STD-498, recommandent la traçabilité dans leurs processus et bien que les avantages de la traçabilité aient été signalés depuis longtemps [Brooks, 87], sa pratique n'est pas encore très répandue. En effet, la traçabilité génère un volume important de divers types d'information à capturer et à maintenir. L'absence de guidage dans la capture, l'utilisation et la maintenance de ces informations diminuent la motivation des chefs de projets à intégrer la traçabilité dans les processus de conception et de développement [Arkley, 2005].

Face à ces difficultés de mise en œuvre de la traçabilité, plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à différents aspects de la traçabilité [Ramesh, 01] [Gotel, 95] [Pohl et al., 97] [Egyed, 02] [Cleland-Huang, 03a]. Ils ont été classés dans la littérature en deux catégories [Gotel et al., 94] : la pré traçabilité et la post traçabilité. La pré traçabilité concerne les aspects de la traçabilité des exigences avant l'inclusion dans un document de spécification. La post traçabilité quant à elle concerne les aspects de la traçabilité des exigences après leur création. Les auteurs proposent des méthodes ou des modèles pour tracer un type particulier d'information de traçabilité tels que les liens, les décisions ou les contributeurs, etc. Les éditeurs de logiciel proposent également des environnements pour la gestion et la traçabilité des exigences [Telelogic, 08] [Caliber, 08] [Rational, 08] [RDD-100, 08]. Ces outils supportent des types de données prédéfinis facilitant la définition des différents types d'information de traçabilité.

En revanche, et malgré tous ces outils disponibles, les entreprises éprouvent encore des difficultés à intégrer la traçabilité dans leurs projets de développement. De plus, elles considèrent qu'il est très coûteux au regard des bénéfices engendrés [Oliveto & al., 07].

En effet, les approches actuelles de la traçabilité des exigences ne sont pas adaptées au contexte global d'un projet de développement et ne prennent pas en compte les différentes disciplines et points de vue d'utilisation des traces dans un projet. Ce problème est dû (1) à la nature multi perspectives de la traçabilité (c.à.d. exigeant la capture de plusieurs catégories d'informations); (2) et au fait qu'elle soit liée à plusieurs disciplines (ingénierie des exigences, méthodes de conception, gestion de projet, développement, test et validation, etc.)

Le travail présenté dans cette thèse s'inscrit dans le domaine de la gestion de la traçabilité des exigences dans un projet de développement. Ce domaine met en œuvre des méthodes et des modèles de gestion de la traçabilité des exigences qui ont pour finalité de suivre l'évolution des exigences tout au long du processus de développement d'un système.

La section suivante présente avec plus de détails la problématique de la thèse.

2 Problématique de la thèse

Nous nous intéressons dans cette thèse à deux aspects de la gestion de la traçabilité des exigences à savoir: d'une part, la modélisation et l'identification des informations de traçabilité dans le cadre d'un projet de développement ; d'autre part, le guidage méthodologique des utilisateurs dans le processus de gestion de la traçabilité.

Nous avons identifié deux groupes de problèmes non traités dans les approches existantes. Le premier groupe est relatif aux types et aux modèles de représentation des informations de traçabilité :

- Absence de démarche d'identification des besoins de traçabilité dans une entreprise.
- Prise en compte incomplète des informations de traçabilité dans les modèles proposés.
- Nécessité d'adapter les modèles de traçabilité aux particularités d'un projet.

Le deuxième groupe est lié aux guidages méthodologiques de la capture et de l'utilisation des informations de traçabilité.

- Manque de guidage méthodologique des utilisateurs dans la gestion de la traçabilité au sein des entreprises (processus et outillage).
- Méconnaissance du cycle de traçabilité dans les projets de développement.

2.1 Absence de démarche d'identification des besoins de traçabilité dans une entreprise

Les entreprises qui choisissent d'implémenter la traçabilité dans leur processus de développement sont confrontées dans un premier temps, à un problème d'identification de leurs besoins. En effet, plusieurs personnes appartenant à différents services (chef de projet, architecte, business analyste, etc.) sont amenées à utiliser la traçabilité et ce, avec un point de vue différent car le besoin d'une personne est principalement lié à ses activités dans un projet et à ses relations avec les autres.

D'autres facteurs, cités dans des travaux de recherche, tels que [Huffman et al., 05] [Ramesh, 98] [Wieringa, 95] [Gotel et al., 94], impactent aussi la traçabilité des exigences dans les

entreprises. Ces facteurs sont soit environnementaux, organisationnels ou liés au cycle de développement des systèmes.

Le travail de compréhension et de formalisation des besoins de traçabilité est essentiel avant le démarrage de la modélisation et de la capture des informations de traçabilité.

2.2 Prise en compte incomplète des informations de traçabilité dans les modèles proposés

L'activité de spécification des informations de traçabilité à capturer doit précéder toutes les étapes d'un processus de gestion de la traçabilité. Ces informations sont composées des différents livrables et processus des activités d'ingénierie des systèmes dans le cadre d'un projet. Nous pouvons y trouver par exemple, des livrables liés aux activités de capture des exigences, l'analyse des risques, la gestion de projet, etc.

Les approches existantes se préoccupent de capturer la trace d'un type particulier d'information de traçabilité. Certaines se focalisent sur des informations relatives aux personnes membre d'un projet [Gotel, 95], d'autres sur le produit et le processus des méthodes de conception appliquées dans un projet [Pohl et al., 97] [Pohl et al., 01] [Clelang-Huang, 03a] [Cysneiros et al., 03] ou sur des informations relatives à la sémantique des liens de traçabilité [Antoniol et al., 02] [Ramesh, 01] [Hayes, 03] [Marcus et al., 03].

Cependant, dans un projet, les informations précédentes sont toutes utilisées et sont donc toutes nécessaires pour répondre aux différents besoins des utilisateurs de la traçabilité.

2.3 Nécessité d'adapter le modèle aux particularités d'un projet

Selon le résultat empirique cité dans [Ramesh et al, 98], les utilisateurs de la traçabilité sont classifiés en deux catégories : simples et avancés. Les caractéristiques des deux catégories sont liées à la fois au type de projet de développement et à la taille de leur entreprise.

Les utilisateurs de la traçabilité ne sont pas toujours à un même niveau d'utilisation et leur besoin dépend aussi de la taille du projet et de sa criticité.

En outre, nous observons que des formes de traçabilité diverses sont nécessaires selon les situations. Un chef de projet peut, par exemple, décider de capturer la trace des raisonnements et des justifications relatifs à la création ou la modification d'une exigence [Stehle, 90]. En revanche, dans un autre projet, ces justifications ne seront pas nécessaires. Les modèles de traçabilité doivent donc être adaptés en fonction des besoins préalablement identifiés [Dogmes, 98].

Une estimation préalable du rapport coût/valeur [Cleland-Huang, 06] permet la construction d'un modèle de traçabilité adapté aux besoins du projet et ajusté au contexte spécifique de celui-ci (taille et complexité, type d'acteurs, contraintes du domaine, réglementation, etc.).

2.4 Manque de guidage méthodologique des utilisateurs dans la gestion de la traçabilité

Les outils de gestion de traçabilité du commerce spécifient des types génériques d'information de traçabilité que les utilisateurs peuvent adapter selon leurs besoins. Cependant, ils ne fournissent pas les moyens permettant de définir comment, quand et par qui l'information de traçabilité devrait être capturée. Ainsi, la plupart des outils n'intègrent pas la définition des étapes de capture des informations ni celle des situations dans lesquelles ces informations doivent être enregistrées. A titre d'exemple, un chef de projet peut définir un type d'information pour enregistrer les décisions mais ne peut pas préciser quand et comment les enregistrer [Pohl et al, 98].

De plus, les outils ne fournissent pas de directive de guidage au cours du processus de capture des informations de trace. Leurs utilisateurs sont livrés à eux même et perdent beaucoup de temps sur la gestion de la traçabilité des exigences qui n'est pas forcément leur activité principale. L'assistance et les rappels des utilisateurs à propos des informations à capturer ainsi que l'exécution automatique de l'enregistrement leur facilite beaucoup de tâches, en particulier dans le cas où l'information à enregistrer changerait d'un projet à l'autre.

2.5 Méconnaissance du cycle de traçabilité dans les projets de développement

Afin de produire et maintenir des informations de traçabilité de qualité, un processus organisationnel est nécessaire [Antoniol et al., 06]. Cependant, la traçabilité n'est souvent pas incluse comme partie intégrante du cycle de vie de développement dans un projet. Il y a donc une nécessité de définir un processus de maturité qui décrit le cycle de traçabilité dans un projet.

Le cycle de traçabilité est le processus qui décrit les différentes activités et livrables de la gestion de la traçabilité des exigences dans un projet. Le problème d'un tel cycle se pose dans le cas où plusieurs entités organisationnelles communiquent via des informations de traçabilité. La prise en compte du besoin d'interfaces et de processus dans ce genre de situation est primordiale pour gérer les différentes activités de traçabilité, ainsi que les relations entre les entités.

3 Objectifs et hypothèses de recherche

Afin de résoudre les problèmes évoqués ci-dessus, nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

- Fournir un modèle générique de traçabilité adaptable au contexte d'usage
- Elaborer une démarche de traçabilité qui fournit un guidage méthodologique pour l'adoption et l'application de la traçabilité
- Proposer un moyen pour optimiser l'usage de la traçabilité en cherchant à réduire le coût et augmenter la valeur.

Pour atteindre ces objectifs, nous émettons les 3 hypothèses suivantes:

3.1 Hypothèse 1: La nécessité d'un méta modèle universel

Les modèles de traçabilité ne peuvent pas être universels, il faut des moyens pour pouvoir les personnaliser et adapter aux cas spécifiques de chaque projet. Le problème d'universalité doit être traité au niveau des méta modèles et non pas au niveau des modèle.

Certaines approches de traçabilité proposent des modèles de références définis à travers une analyse de plusieurs cas d'études dans différents entreprises [Ramesh, 01]. Les modèles proposés ne sont pas facilement exploitables par les membres d'un projet et ne prévoient pas tous les cas de figures de la traçabilité. D'autres approches proposent des méta modèles se focalisant sur un seul aspect de la traçabilité, tel que, sur la relation de contribution entre les acteurs du projet et les livrables, sur la gestion de configuration ou sur les livrables du processus de développement d'un projet [Hayes, 03] [Cleland-Huang, 03] [Gotel, 94]. Le choix d'une de ces approches n'est pas suffisant pour pouvoir gérer la traçabilité tout au long d'un projet complexe et multi disciplinaires.

A partir de ce constat, nous pensons que la définition d'un méta modèle universel permet une meilleure gestion de la traçabilité indépendamment des projets. Il va permettre une prise en compte de toutes les situations d'usage de la traçabilité et produit un modèle de traçabilité spécifique à un projet.

3.2 Hypothèse 2: L'importance des points de vue

Un méta modèle de traçabilité doit intégrer le concept de point de vue dans sa définition afin de représenter l'ensemble des informations de traçabilité dans un projet.

En effet, dans un projet, plusieurs personnes de différents métiers d'ingénierie système sont amenées à collaborer ensemble pour l'aboutissement d'un produit final. Chaque personne donne sa propre vision ou point de vue de la traçabilité qui est souvent différent des autres. Par conséquent, la définition d'un méta modèle permettant la création d'un modèle de traçabilité multi points de vues et qui satisfait tous les membres d'un projet peut résoudre une grande partie du problème du domaine de la traçabilité.

En résumé, l'adoption du principe de multi points de vue dans un méta modèle aide à mieux maîtriser la diversité des sources d'informations de traçabilité.

Nous avons étudié les principales normes de maturité des processus dans le domaine de l'ingénierie des systèmes et nous avons constaté que les pratiques de base sont presque identiques [CMMi, 07] [FAA, 06] [IEEE, 04]. Ensuite, nous avons classé les pratiques et les activités proposés dans ces normes en quatre catégories de base, à savoir, ingénierie, gestion, maintenance et qualité.

Les points de vue des acteurs et d'usage de la traçabilité sont dérivés de ces catégories de base.

3.3 Hypothèse 3: Le besoin de guidage

Les entreprises n'ont pas les moyens de guidage leur permettant l'adoption et la mise en place de la traçabilité des exigences de leurs projets. Le manque de directives est considéré par les responsables des projets comme un obstacle pour l'adoption et la mise en place de la traçabilité. Ils ont besoin d'une démarche facile et compréhensible par l'ensemble des membres d'un projet qui ont en générale des connaissances superficielles du processus de la traçabilité des exigences.

D'après ce constat, nous estimons qu'une démarche qui aide à la construction et l'exploitation des modèles de traçabilité est un atout considérable pour le succès d'une solution de traçabilité.

4 Résultats de la thèse

Ce mémoire de thèse présente six principaux résultats de recherche:

- Un méta modèle multi perspectives qui représente les différents points de vue sur les types d'information de traçabilité dans un projet (le méta modèle MV - TMM)

[El-Ghazi, 08] [El-Ghazi et al., 08]: le méta modèle est obtenu par intégration ainsi que par extension des différents modèles existants.

- Un processus d'identification et de spécification des besoins de traçabilité préalablement à la construction d'un modèle : il permet de guider les décideurs dans l'identification des éléments de leur besoin de traçabilité afin de mieux gérer le cycle de traçabilité dans les différents projets.
- Un guidage dans la construction d'un modèle de traçabilité par adaptation du méta modèle MV-TMM : ce guidage est nécessaire à la construction d'un modèle de traçabilité adapté au cas d'un projet.
- Un guidage dans la capture et dans l'utilisation des informations de traçabilité, absent ou presque dans toutes les approches existantes. Les utilisateurs ne sont pas assistés dans la capture et l'utilisation des traces, surtout dans le cas d'un projet complexe.
- Une étude de cas qui montre l'application de notre approche dans le contexte d'un projet industriel. Cette étude a permis de valider les différentes directives et stratégies que nous proposons pour la conception et l'utilisation des informations de traçabilité.
- Une évaluation du coût et de la valeur d'un besoin de traçabilité. Cette évaluation permet aux responsables des projets d'une entreprise une meilleure prise de décision sur le choix du modèle de traçabilité adapté au contexte de leurs projets.

Les trois processus proposés dans notre approche sont basés sur le méta modèle de processus appelé le modèle de la carte [Rolland, 99] [Benjamin, 99]. Une carte est un modèle de processus multi démarches qui permet de représenter un ensemble très riche de processus puisqu'il propose plusieurs démarches alternatives en fonction des objectifs à atteindre et de la situation d'ingénierie. Le modèle de la Carte a par ailleurs l'avantage de garantir l'extensibilité des modèles de processus proposés.

Le schéma ci-dessous (Figure 3) donne une vue globale de la démarche : l'ingénieur de traçabilité (ou de méthode) commence par la capture du besoin de traçabilité d'un projet. Ensuite, il utilise le méta modèle MV-TMM pour décrire le modèle de traçabilité adapté au cas du projet. Le processus de description et de construction du modèle est basé sur le modèle de la carte. Le résultat de cette phase est un modèle de traçabilité spécifique au projet.

Afin de guider l'utilisation du modèle et sa maintenance, l'ingénieur de traçabilité (système) applique le modèle de processus de capture et d'utilisation des informations de traçabilité.

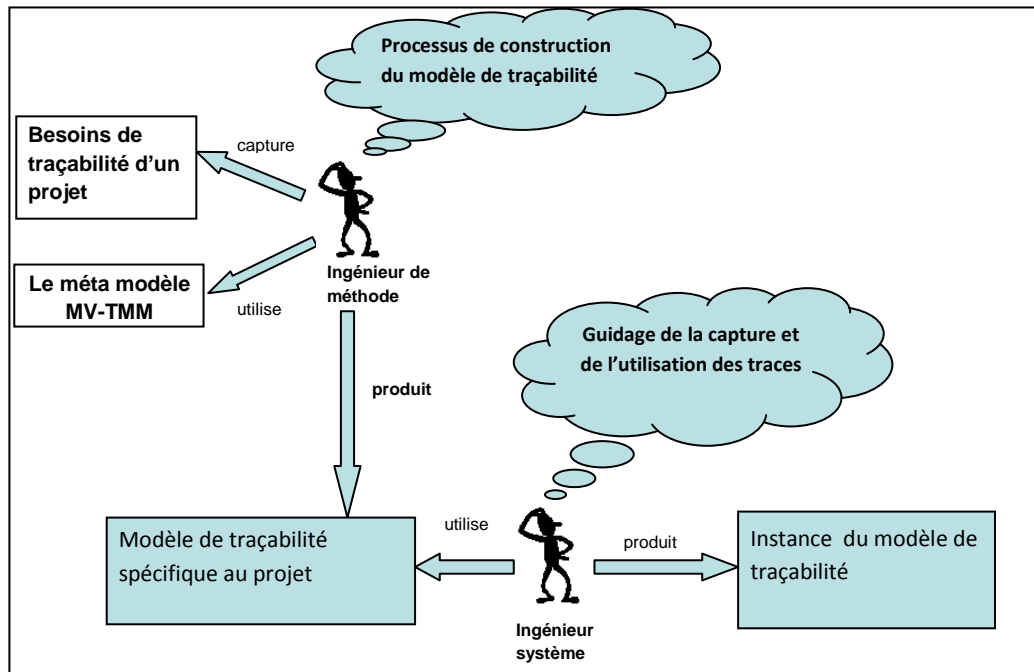


Figure 3 : Aperçu de la solution MV-TMM de cette thèse

5 Méthode de recherche et environnement de travail

Cette étude s'inscrit dans un projet de collaboration de type CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche en Entreprise) entre un laboratoire de recherche universitaire et une entreprise. La thèse s'est déroulée à la Direction d'ingénierie des Systèmes de la Direction Recherche et développement du groupe DIAGONSTICA STAGO en collaboration avec le Centre de Recherche en Informatique de l'université Paris1 – la Sorbonne (CRI). Cette Direction est chargée de la spécification du besoin des instruments automatisés pour l'analyse des produits sanguins et la mise en application des pratiques d'ingénierie système.

Notre participation aux projets de l'entreprise nous a permis de tester notre approche en situation réelle. Les projets que développe l'entreprise STAGO sont des systèmes complexes comportant des automates, des interfaces sophistiquées, du logiciel, des processeurs embarqués etc.

Les projets de développement sont eux-mêmes complexes car ils font intervenir des acteurs de différents corps de métier : mécanique, chimie, informatique, biologie... qui utilisent des langages de spécification, des démarches d'ingénierie et des modes de documentation différents. STAGO souhaiterait homogénéiser les pratiques d'acquisition des besoins et de

spécification, et mettre en place une démarche globale, outillée et mettant l'accent sur la traçabilité.

Durant notre travail dans les projets de l'entreprise, nous avons pu observer les approches utilisées en pratique et leurs limites, ce qui a renforcé notre conviction quant à la nécessité d'une approche globale permettant de traiter le problème de la traçabilité des exigences.

6 Plan du mémoire

La suite du présent mémoire est composée des chapitres suivants :

Chapitre 2 : Etat de l'art. Ce chapitre présente un état de l'art des approches traitant la traçabilité des exigences. Cet état de l'art est organisé selon un cadre de référence qui permet de présenter différents aspects de traçabilité et de positionner des approches les unes par rapport aux autres.

Chapitre 3 : Méta modèle MV-TMM. Le chapitre présente le méta modèle qui permet de mettre en évidence les concepts et la structure des informations de traçabilité servant à capturer les données de traçabilité.

Chapitre 4 : La démarche MV-TMM. Ce chapitre définit formellement la démarche MV-TMM à l'aide du méta modèle de Carte. La Carte est présentée dans ce chapitre en tant que formalisme de modélisation de besoins d'une part, et comme un méta modèle de processus capable de générer des modèles de processus multi démarches d'autre part. Nous proposons un guidage qui repose sur un ensemble de directives indiquant à la fois comment naviguer dans la méthode et comment réaliser les étapes qu'elle propose de suivre.

Chapitre 5 : Exemple d'application dans un projet. Ce chapitre décrit un exemple d'application de l'approche MV-TMM dans un projet de l'entreprise STAGO.

Chapitre 6 : Une évaluation orientée valeur/coût d'un besoin de traçabilité. Ce chapitre présente une analyse permettant de guider les responsables d'un projet à adapter leurs besoins de traçabilité suivant la taille de leurs projets.

Le chapitre consacré à la conclusion résume l'approche présentée dans cette thèse et envisage de nouveaux développements sur le thème traité ici.

CHAPITRE 2

ETAT DE L'ART

1 Introduction

Ce chapitre a pour but de définir un cadre multi dimensionnels utile à l'analyse des approches de traçabilité des exigences. Ce cadre de référence s'inspire de [Rolland, 98] et est composé de quatre vues. Chacune de ces vues explore des caractéristiques de la traçabilité. Ainsi, il permet (1) d'identifier des problèmes sous-jacents à la gestion de la traçabilité et (2) de positionner les approches de recherche les unes par rapport aux autres.

Le chapitre présente également un état de l'art des outils de traçabilité des exigences déjà existants dans le commerce. Nous conduisons une étude critique de leurs fonctionnalités et identifions les problèmes non encore résolus.

Les travaux sur la traçabilité des exigences sont très variés. Ils portent sur la capture d'informations produites dans les différentes phases d'un projet. Ils traitent également de la gestion d'impact des changements, de l'évolution ou du maintien des liens de traçabilité, etc. En revanche, les solutions proposées ne sont pas encore satisfaisantes pour plusieurs raisons :

- Les approches se focalisent sur un aspect particulier de la traçabilité (la pré-traçabilité ou la post-traçabilité). Or, les projets nécessitent une approche globale tout au long du processus de développement d'un système.
- Les entreprises trouvent des difficultés à intégrer la traçabilité des exigences dans leurs projets, parce que les approches actuelles de la recherche et les outils du commerce ne leurs fournissent pas les moyens de guidage pour la mise en application de la traçabilité.

Le cadre de référence présenté dans ce chapitre illustre les aspects traités par chaque approche ainsi que les points non abordés. La suite est organisée de la façon suivante : la section 2 décrit le cadre de référence de la traçabilité; la section 3 correspond à l'étude de différentes

approches suivant ce cadre de référence, la section 4 présente les différents outils de traçabilité commerciaux avant de conclure à la section 5.

2 Cadre de référence des approches de traçabilité des exigences

Nous présentons en détail dans cette section le cadre de référence identifiant les propriétés attendues d'une approche de traçabilité des exigences. Le cadre CREWS [Rolland, 98] de classification des langages de scénarios a été adapté pour définir notre cadre de référence en s'interrogeant systématiquement sur les propriétés que revêtent les méthodes et techniques existantes de traçabilité des exigences. Le choix de ce cadre est justifié par le fait que les propriétés des langages de scénarios ressemblent à celles des approches de traçabilité. La différence réside dans les valeurs affectées aux propriétés.

Comme le cadre CREWS, le cadre de référence de la Figure 1 est organisé autour de quatre vues. Chaque vue est décomposée en facettes qui possèdent des attributs auxquels on associe un ensemble de valeurs prédéfinies.

Un modèle de traçabilité se positionne dans le cadre de référence par affectation de valeurs aux attributs de chaque facette. Les valeurs d'attributs sont définies dans un domaine de valeurs. Il peut être de type booléen, énuméré ou une structure de données.

A l'inverse une vue permet aussi d'analyser un aspect particulier d'une méthode de traçabilité.

La Figure 1 montre quatre vues des fonctionnalités des approches de traçabilité: le *contenu*, la *forme*, l'*objectif* et le *cycle de vie*.

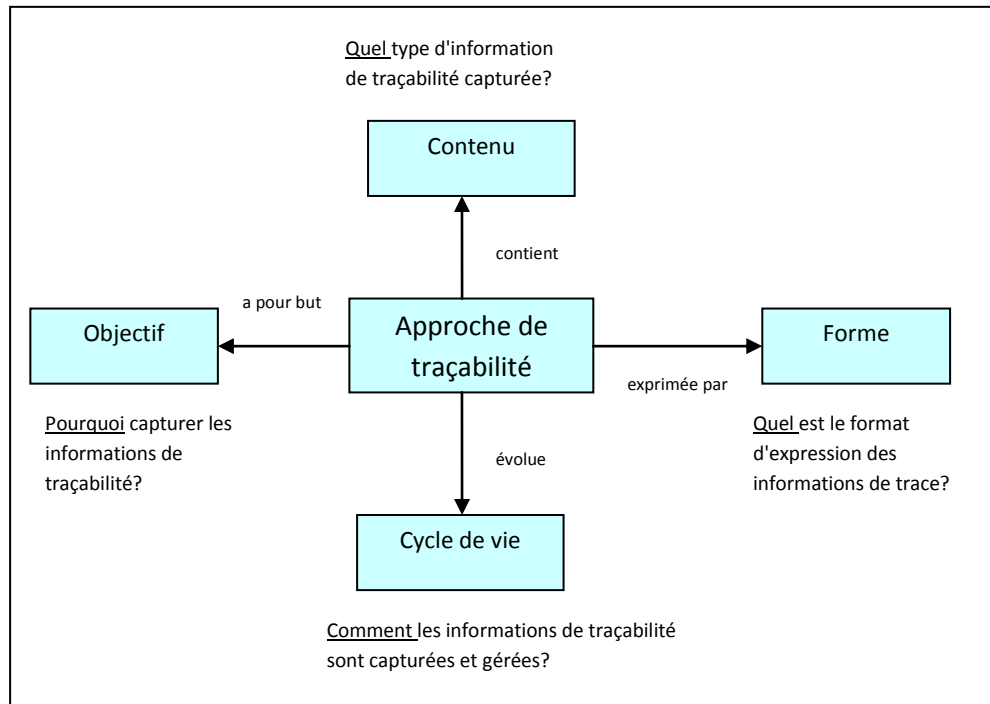


Figure 1 : Cadre de référence

La vue *Forme* se préoccupe du format des informations de traçabilité capturées dans une approche de traçabilité. Les informations sont-t-elles formelles/informelles, statiques/animées?

La vue *Contenu* concerne la nature des informations de traçabilité capturées dans l'approche. Par exemple, certaines approches se focalisent sur les rôles des personnes, d'autres sur la gestion des décisions, etc. Cette vue contient des facettes sur l'ensemble des types d'informations nécessaires pour tracer les exigences.

La vue *Objectif* est utilisée pour capturer le but principal de l'approche de traçabilité. L'objectif pourrait être, par exemple, d'aider à capturer les exigences et leurs évolutions, de gérer les modifications ou de comprendre la relation entre les exigences et les composants d'un système, etc.

La vue *Cycle de vie* permet, quant à elle, de décrire les activités et les étapes utilisées dans chaque approche pour gérer la traçabilité. Elle inclut par exemple, l'identification des besoins, le guidage de la représentation et de la capture des informations de traçabilité, etc.

Les quatre vues sont détaillées dans les sous-sections suivantes.

2.1 Vue Forme

La vue *Forme* contient deux facettes (Tableau 1) : Description et Représentation.

La facette *Description* représente les termes utilisés pour la description des informations de traçabilité. Les différentes notations et moyens de description constituent l'objectif de cette facette.

Les valeurs que les deux attributs peuvent prendre sont :

- ❑ **Moyen** : SET ({Texte, Graphique, Image, Vidéo, Prototype})
- ❑ **Notation** : ENUM {Formelle, Semi- formelle, Informelle}

Le Moyen évalue les différents formats de représentation des informations de traçabilité. La Notation évalue la nature de la description.

La facette *Représentation* décrit le format et le mode d'affichage des informations de traçabilité. Les valeurs que les deux attributs Affichage, Interactivité peuvent prendre sont :

- ❑ **Affichage** : SET (Tableau, Matrice, Arbre, Autre)
- ❑ **Interactivité** : ENUM {Dynamique, Statique, Aucun}

Vue	Facette	Attribut
Forme	Description	Notations
		Moyens
	Représentation	Affichage
		Interactivité

Tableau 1: La vue forme

2.2 Vue Contenu

La vue *Contenu* (Tableau 2) a quatre facettes : *Abstraction*, *Contexte*, *Argumentation*, et *Couverture*. La facette *Abstraction* identifie si l'approche supporte plusieurs niveaux d'abstraction des informations de traçabilité et en particulier pour les liens de traçabilité. Ses valeurs sont : **Abstraction** : ENUM {Instance, Type, Mixte}

La facette *Contexte* identifie, quant à elle, le périmètre des informations capturées ainsi que, à quel besoin répondent les informations de traçabilité. Cette facette à cinq attributs:

- ❑ **Système**: BOOLÉEN
- ❑ **Projet**: BOOLÉEN
- ❑ **Environnement**: BOOLÉEN
- ❑ **Organisation**: BOOLÉEN

- ❑ **Utilisateur:** ENUM {Débutant, Moyen, Avancé}

Les attributs ont pour objectif de répondre aux questions suivantes:

- L'approche se préoccupe-t-elle des informations liées aux systèmes ou aux projets?
- Capture-t-elle les informations associées à l'environnement social et technique d'un projet?
- Capture-t-elle également les informations liées à l'organisation?
- A quel genre d'utilisateurs l'approche est-elle dédiée?

La facette *Couverture* décrit la nature du contenu des informations capturées. Cela inclut les informations relatives aux produits des différentes activités menées dans un projet ainsi que les informations relatives aux différents processus.

Les cinq attributs de cette facette identifiées et leurs valeurs sont :

- ❑ **Artéfact:** SET ({Produit des méthodes, données informelles, justification})
- ❑ **Relation:** SET ({Relation entre artéfact, relation entre processus, relation entre processus et artéfact, relation de contribution, Degré des relations})
- ❑ **Processus:** SET ({Processus d'ingénierie, processus de gestion, raisonnement, processus de qualité})
- ❑ **Contributeur:** SET ({Catégorie, rôles, structure, engagement})
- ❑ **Evolution:** SET ({Changement, analyse d'impact, consistance, notification})

La justification d'un choix ou d'une modification est une information liée principalement à une approche qui intègre un processus de décision. La facette *Argumentation* décrit les différents attributs qui caractérisent la justification des choix intégrés dans les approches de traçabilité.

- ❑ **Position:** BOOLÉEN, décrit une solution alternative d'un problème.
- ❑ **Argument:** BOOLÉEN, supportent ou rejettent une position.
- ❑ **Issue:** BOOLÉEN, décrivent un problème ou un conflit.
- ❑ **Décision:** BOOLÉEN, sont des choix sur la base d'une position particulière.

Vue	Facette	Attribut
Contenu	Abstraction	Niveau
	Contexte	Système
		Projet
		Environnement
		Organisation
		Utilisateur
	Couverture	Artéfact/Livrable
		Relation
		Processus
		Contributeur
		Evolution
	Argumentation	Position
		Argument
		Issue
		Décision

Tableau 2: la vue contenu

2.3 Vue Objectif

La vue *Objectif* (Tableau 3) a une seule facette : *But* qui possède trois attributs identifiant trois types d'objectifs atteints par l'approche de traçabilité :

- ❑ *Capture des traces*: BOOLÉEN
- ❑ *Gestion des liens* : BOOLÉEN
- ❑ *Gestion de configuration* : BOOLÉEN

Les méthodes de traçabilité ont pour but global la capture des traces des artéfacts et la gestion de ses évolutions. Certaines se préoccupent principalement de la capture des informations de traçabilité, d'autres de l'automatisation de la création des liens de traçabilité ou la gestion de configuration des informations capturées. La gestion de configuration inclut le suivi des changements et des évolutions ainsi que l'analyse d'impact.

Vue	Facette	Attribut
Objectif	But	Capture des traces
		Gestion des liens
		Gestion de configuration

Tableau 3: La vue objective

2.4 Vue Cycle de vie

La vue Cycle de vie identifie les étapes nécessaires dans un processus de gestion de la traçabilité des exigences au long d'un projet. Les six facettes de cette vue sont: *Nature de traçabilité*, *Identification de besoin*, *Construction*, *Capture*, *Usage*, *Maintenance*.

- La facette Nature de traçabilité indique si l'approche concerne la pré-traçabilité ou la post-traçabilité.
- La facette Identification de Besoin indique si l'approche identifie les besoins de traçabilité avant de l'implémenter.
- La facette Construction indique si l'approche propose un guidage de la construction d'un modèle de traçabilité.
- La facette Capture indique si la capture des informations de traçabilité est gérée d'une façon automatisée ou non.
- La facette Usage indique si l'approche intègre dans son processus un guidage sur la manière d'utiliser les données de traçabilité.
- La facette Maintenance indique si l'approche gère l'évolution et la configuration des informations de traçabilité.

Les valeurs des attributs sont:

- ❑ ***Nature de traçabilité***: SET ({Pré-trace, Post-trace})
- ❑ ***Identification de Besoin***: BOOLÉEN
- ❑ ***Construction***: SET ({Auto, Semi-auto, Manuelle, Aucune})
- ❑ ***Capture***: SET ({Auto, Semi-auto, Manuelle})
- ❑ ***Usage***: SET ({Auto, Semi-auto, Manuel, Aucun})
- ❑ ***Maintenance***: SET ({Auto, Semi auto, Manuelle, Aucune})

Vue	Facette	Attribut
Cycle de vie	Nature de traçabilité	Type
	Processus de traçabilité	Identification de Besoin
		Construction
		Capture
		Usage
		Maintenance

Tableau 4: La vue cycle de vie

2.5 Résumé

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des critères présentés dans les sections précédentes pour classifier les approches de traçabilité.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	Texte, Graphique, Image, Vidéo, Prototype
		Notation	formelle, Semi formelle, Informelle
	Représentation	Affichage	Tableau, Matrice, Arbre, Autre
		Interactivité	Dynamique, Statique, Aucun
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Instance, Type, Mixte
	Contexte	Système	Oui/Non
		Environnement	Oui/Non
		Projet	Oui/Non
		Organisation	Oui/Non
		Utilisateur	{débutant, avancé}
	Argumentation	Position	Oui/Non
		Argument	Oui/Non
		Issue	Oui/Non
		Décision	Oui/Non
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes, données informelles, justification
		Processus	Processus métier, processus de conception, raisonnement
		Contributeur	Catégorie, rôles, structure, engagement
		Relation	relation entre artéfact, relation entre processus, relation entre processus et artéfact, relation de contribution, Degré des relations
		Evolution	Changement, analyse d'impacte, consistance, notification, évolution des liens
Objectif	But	Capture des traces	Oui/Non
		Gestion des liens	Oui/Non
		Gestion de configuration	Oui/Non
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	pré-traçabilité, post-traçabilité
		Direction	En amont, En aval
	Processus	Identification des besoins	Oui/Non
		Guidage de la construction	Auto, Semi-auto, Manuel, Aucun
		Guidage de la Capture	Auto, Semi-auto, Manuel, Aucun
		Guidage de l'utilisation	Auto, Semi-auto, Manuel, Aucun
		Maintenance des données	Auto, Semi-auto, Manuel, Aucun

Tableau 5: Cadre de référence de classification des approches de traçabilité

3 Positionnement de six approches au moyen du cadre de référence

Cette section présente une évaluation de six approches de traçabilité par rapport au cadre de référence présenté à la section précédente:

- Une approche à base de *Modèles de référence* [Ramesh et al., 01]. Il s'agit d'une abstraction des meilleures pratiques de traçabilité dans les entreprises.
- Une approche *Orientée contribution* [Gotel, 95]. Elle se préoccupe de la structure et l'engagement des personnes vis-à-vis des spécifications.
- Une approches *Orientée méthode* [Pohl et al., 97] [Dogmes, 98]. Elle est basée sur la capture des relations entre produit et processus des méthodes appliquées dans les activités d'ingénierie.
- La *Traçabilité à base d'évènement* (EBT) [Cleland-Huang, 03a], est une méthode dynamique de traçabilité des changements qui établit et maintient des liens entre les exigences et les artefacts¹.
- La technique *Automatisée de recherche d'information* (IRES) [Hayes, 03], est utilisée pour lier des artefacts entre eux et avec les exigences par l'intermédiaire d'un mécanisme de recherche et de classification des artefacts.
- La *Traçabilité à base de scénarios* (SBT) [Egyed, 01] est une technique utilisée pour augmenter l'exactitude des liens de traçabilité recherchés entre les spécifications et un système en fonctionnement, particulièrement pendant la phase de re-ingénierie ou la maintenance des systèmes.

Ces approches constituent un ensemble représentatif de ce qui existe de l'état de l'art dans le domaine de la traçabilité des exigences. Les concepts introduits dans ces approches ont été reproduits dans plusieurs outils logiciels de gestion de la traçabilité. Nous allons décrire brièvement ces approches et les situer par rapport au cadre de référence décrit ci-dessus.

3.1 Les modèles de référence

Les modèles de référence sont une abstraction des meilleures pratiques dans le domaine de la traçabilité des exigences et sont obtenus par analyse de nombreuses études de cas [Ramesh et al, 01].

¹ Un artefact est la spécification d'une information physique utilisée ou produites dans un projet.

Le but de ces modèles est de réduire de manière significative la création des modèles spécifiques à une application: l'utilisateur choisit les parties appropriées du modèle de référence, les adaptent au problème en cours et configure une solution globale à partir des différentes parties.

Afin d'obtenir les modèles, Ramesh et Jarke ont conduit une étude empirique dans plusieurs entreprises. Les participants de l'étude ont été classés en deux catégories distinctes suivant leur niveau de pratique en matière de traçabilité. Ils sont désignés par des *simples utilisateurs* ou des *utilisateurs avancés*.

Les simples utilisateurs ont les caractéristiques suivantes:

- La complexité typique du système en développement est d'environ 1000 exigences
- Le niveau d'expérience de traçabilité est de zéro à deux ans
- Leur définition de la traçabilité se focalise sur la transformation des documents des exigences vers les artefacts de la conception
- Leurs applications principales concernant la traçabilité sont : la décomposition des exigences, l'allocation des exigences, la vérification de conformité et le contrôle de changement.

Les utilisateurs avancés ont les caractéristiques suivantes :

- La complexité typique du système en développement est d'environ 10000 exigences
- Le niveau d'expérience de traçabilité est de cinq à dix ans
- Leur définition de la traçabilité est liée au fait qu'elle augmente la probabilité de produire un système qui répond à toutes les exigences du client et qui sera ainsi facile à maintenir
- Les applications principales de la traçabilité sont : dans tout le cycle de vie du projet en prenant en compte la capture du besoin client, les issues et discussions à l'origine des exigences, les décisions et les justifications, les informations de traçabilité liées aux livrables et processus.

Le résultat de cette étude empirique est un ensemble de modèles décrivant l'aspect type de lien de traçabilité entre différents artefact. Les auteurs de cette étude ont adopté un système simple de quatre types de liens de traçabilité pour classer leurs observations empiriques (figure 2).

Le premier groupe de liens est relatif aux livrables des processus de développement. En d'autres termes, ils décrivent la nature des relations entre les artéfacts.

Dans la figure 2a, l'artéfact A (par exemple une exigence, une norme ou un conception) définit un certain type de contrainte ou de but qui devrait être *satisfait* par un ou plusieurs artéfacts plus bas dans la figure 2a (Artéfacts B, C). La satisfaction est une réclamation qui doit être justifiée par des procédures de vérification de conformité.

L'artéfact à satisfaire implique une *dépendance* entre les artéfacts B, C de la figure 2a. Ainsi, il y a deux types de liens relatifs aux artéfacts de la figure 2a: les liens de *satisfaction* et de *dépendance*. Ils sont souvent utilisés par les simples utilisateurs de traçabilité.

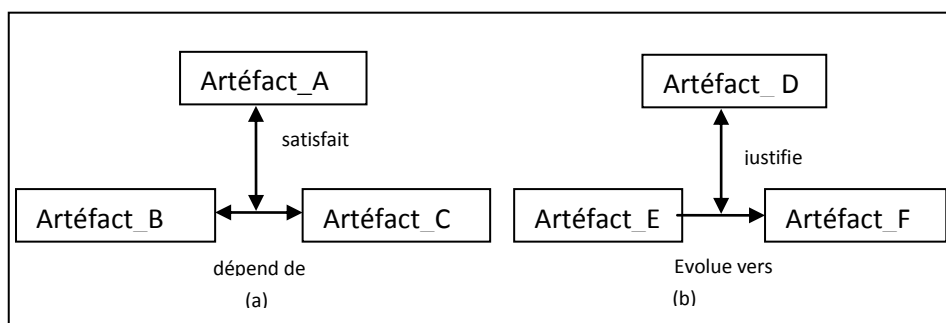


Figure 2 : Types de liens de traçabilité

Le deuxième groupe de liens de traçabilité est relatif aux processus de développement (qui produisent les artéfacts). Ils sont capturés en regardant l'historique et l'évolution du processus lui-même et ne peuvent pas être capturés à travers les artéfacts.

La figure 2b est semblable à la figure 2a, avec une différence importante au niveau des types de lien d'évolution qui ont une direction temporelle : l'Artéfact E à gauche *évolue vers* l'Artéfact F de droite par une action dont le *raisonnement (justification)* est capturé dans l'Artéfact D. Ainsi, les deux types de liens de processus sont des *liens d'évolution* et de *raisonnement*. Les utilisateurs avancés de traçabilité utilisent régulièrement les types de lien appartenant à ces deux types.

En résumé, les modèles de référence sont un moyen utile pour la conception d'un modèle de traçabilité dans un projet. Cependant, ils ne sont pas très adaptés au projet complexe et évolutif (impose un modèle qui ne prend pas en compte tous les éléments de traçabilité), et ne fournissent pas un mécanisme de guidage du processus de capture et d'utilisation des informations de traçabilité.

En outre, l'approche ne prend pas en considération la particularité des projets et ne montre pas comment on peut adapter le modèle de référence à la situation d'utilisation.

Positionnement par rapport au cadre de référence :

Comme le montre le tableau 6, les modèles de référence ne prennent pas en compte les Facettes suivantes : Environnement du projet, Contributeur, gestion de configuration et le processus de gestion des données de traçabilité.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte, graphique
		Notation	formelle, Semi formelle
	Représentation	Affichage	Arbre
		Interactivité	Statique
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Mixte
	Contexte	Système	Oui
		Environnement	Non
		Projet	Oui
		Organisation	Oui
		Utilisateur	{débutant, avancé}
	Argumentation	Positions	Oui
		Arguments	Oui
		Issues	Oui
		Décision	Oui
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes, données informelles, justification
		Processus	Processus de raisonnement
		Contributeur	Aucun
		Relation	relation entre artéfact, relation entre processus, sémantique des relations
		Evolution	Changement, évolution des liens
Objectif	But	Capture des traces	Oui
		Construction des liens	Oui
		Gestion de configuration	Non
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	pré-traçabilité, post-traçabilité
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Manuel
		Capture	Manuel
		Utilisation	Aucun
		Maintenance	Aucun

Tableau 6: positionnement des modèles de référence

3.2 Une approche orientée contribution

L'approche à base de « structure de contribution » (CS) propose de capturer les informations de traçabilité associées au réseau des personnes (acteurs) qui participent au processus d'ingénierie des exigences dans un projet [Gotel et Finkelstein, 1994a] [Gotel, 95]. Cette forme de traçabilité est différente des approches classiques de la traçabilité à base d'artéfacts. Elle se préoccupe de la traçabilité de la structure des membres d'un projet ainsi que leur type d'engagement vis-à-vis des artéfacts.

Les contributeurs sont les personnes, membre d'un projet, qui participent à la création et la mise à jour des différents artéfacts. Le but de l'approche CS est la formalisation de

l'environnement social dans un projet afin de pouvoir distinguer la nature des relations de contribution vis-à-vis des artefacts.

Le processus de capture des informations de contribution proposé dans l'approche CS est décrit dans la figure 7.

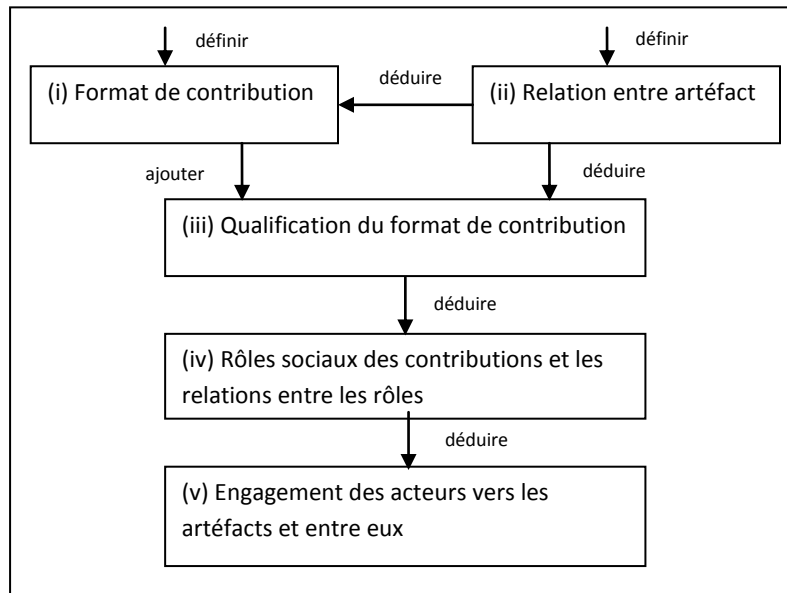


Figure 7. Les étapes de l'approche CS

La suite de cette section décrit brièvement chaque étape du processus CS et les informations de traçabilité capturées dans chacune de ses étapes.

- *Définition du format de contribution*

L'étape de définition du format de contribution consiste à identifier la nature des relations de contribution entre les acteurs et les artefacts. L'approche distingue quatre types de relations sociales dans un processus d'ingénierie des exigences (IE) présentés dans le tableau 7. Ce dernier classe les contributions des acteurs dans un processus d'ingénierie des exigences suivant leurs types de participation (participant, non participant) et leur type de réalisation (production, réception).

L'approche CS se préoccupe de la traçabilité des informations qui proviennent des acteurs directement impliqués dans la production des artefacts (premier quart de tableau 7).

	Production	Réception
Participant	Les acteurs directement impliqués dans la production des artefacts	Les acteurs qui utilisent les artefacts produites pour eux
Non participant	Les acteurs indirectement impliqués dans la production des artefacts	Les acteurs qui utilisent les artefacts qui ne sont pas produits pour eux

Tableau 7 : Espace d'ingénierie des exigences

La définition du format de contribution distingue également trois formes de contribution des acteurs (nous parlons aussi de rôle) sur les artefacts: « *Principal* » - l'acteur est responsable du contenu et de ses implications. « *Author* » - l'acteur est responsable de la syntaxe et de la sémantique du contenu. « *Documentor* » - l'acteur est responsable de l'apparence physique de l'artefact.

- *Définition de la relation entre les artefacts*

L'approche CS distingue trois catégories de relations entre les artefacts, qui constituent la base pour différents types de traçabilité:

- *Les relations temporelles*, décrivent la structure historique du développement, et fournissent les moyens de tracer l'historique des exigences.
- *Les relations de développement*, décrivent la structure logique du développement et fournissent les moyens de tracer la structure des exigences.
- *Les relations auxiliaires*, décrivent des formes supplémentaires de liens dans lesquelles les informations dans les artefacts sont annexées.

L'approche CS est principalement concernée par le développement des relations de **la troisième catégorie**. Les deux types de relations auxiliaires traitées dans l'approche sont appelés: *relations de contenu* et *relation de connectivité* entre les artefacts.

- *Qualification du format de contribution*

L'approche CS recommande l'utilisation d'attributs pour mieux qualifier le rôle d'une personne par rapport à un artefact. Pour le rôle « principal » identifié précédemment, les attributs associés à celui-ci par rapport à un artefact seront donc: *approuvé*, *non approuvé*, *en attente d'approbation*.

- *Rôles sociaux dérivés et les relations entre les rôles*

L'approche CS propose de détailler plus finement les rôles principaux identifiés dans l'étape définition du format de contribution (notamment « principal », « author », et « documentor »). Elle donne une description plus réaliste des informations sur les rôles qui sont dans la pratique assignés d'une façon dynamique entre les personnes.

Pour le rôle "auteur" par exemple, les dérivations sont: *auteur réel*, *auteur partiel*, *auteur nominal*.

- *Engagement des personnes vis-à-vis des artefacts et entre elles*

Dans la pratique les engagements des personnes changent régulièrement. Or, ces relations ont un impact direct sur les artefacts manipulés dans un projet. Ce genre d'information est rarement capturé dans les approches de traçabilité.

Les engagements des personnes sur les artefacts déterminent les personnes agissant en tant sur la forme, le contenu, la structure ou la sémantique.

Le tableau 2 fournit un exemple simple d'engagements de personnes basés sur un ensemble de rôles sociaux de contribution (Auteur, Relecteur, Sponsor, Nominal).

Agit sur ↓	Forme physique	Contenu	Structure	Sémantique
Auteur	✓	✓	✓	✓
Relecteur	X	✓	✓	✓
Sponsor	X	✓	x	x
Nominal	✓	✓	x	x

Tableau 8. Exemple d'engagement sur les artefacts

Positionnement par rapport au cadre de référence :

Comme le montre le tableau 9, l'approche de contribution ne prend pas en compte les Facettes: Contexte, Argumentation, Processus et la Vue Cycle de vie. Les informations de traçabilité ne concernent que les types de contributions.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte
		Notation	Informelle
	Représentation	Affichage	Tableau
		Interactivité	Statique
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Instance
	Contexte	Système	Non
		Environnement	Oui
		Projet	Non
		Organisation	Non
		Utilisateur	{débutant}
	Argumentation	Positions	Non
		Arguments	Non
		Issues	Non
		Décision	Non
	Couverture	Artéfact	données informelles
		Processus	Aucun
		Contributeur	Catégorie, rôles, structure, engagement
		Relation	relation de contribution, degré des relations
		Evolution	Aucun
Objectif	But	Capture des traces	Oui
		Gestion des liens	Non
		Gestion de configuration	Non
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	pré-traçabilité
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Manuel
		Capture	Manuel
		Utilisation	Aucun
		Maintenance	Aucun

Tableau 9: Positionnement de l'approche CS

3.3 Une approche orientée méthode (OM)

L'approche OM propose une méthode de capture des informations de traçabilité provenant des processus et produits des méthodes d'ingénierie appliqués dans les phases de conception d'ingénierie de besoin des systèmes [Pohl, 97] [Dogmes, 98]. Elle distingue quatre types d'information de traçabilité (tableau 10), à savoir, les produits des méthodes, les informations de justification des produits, les données d'observation de processus et les liens de dépendance entre les trois informations précédentes (figure 8).

L'approche s'intéresse également à la traçabilité des étapes correspondantes par lesquelles ces informations sont interactivement ou automatiquement enregistrées.

Types de donnée	Description
Les produits des méthodes	Sont les types de données nécessaires pour documenter les exigences des systèmes et leurs décompositions, par exemple, les types de données pour enregistrer les modèles UML;
Les produits supplémentaires	Sont les artefacts additionnels qui fournissent des explications ou des justifications pour la documentation des produits. Par exemple, les décisions, les raisonnements, les comptes rendu de réunion, etc.;
Les données d'observation de processus	Sont des données relatives à l'exécution des processus. Par exemple, les activités exécutées, les ressources utilisées, les acteurs impliqués
Les liens de dépendance	Représentent les relations entre les trois catégories de données précédentes (des relations de versioning ou des relations de justification, etc.)

Tableau 10: Type d'information de traçabilité de l'approche OM

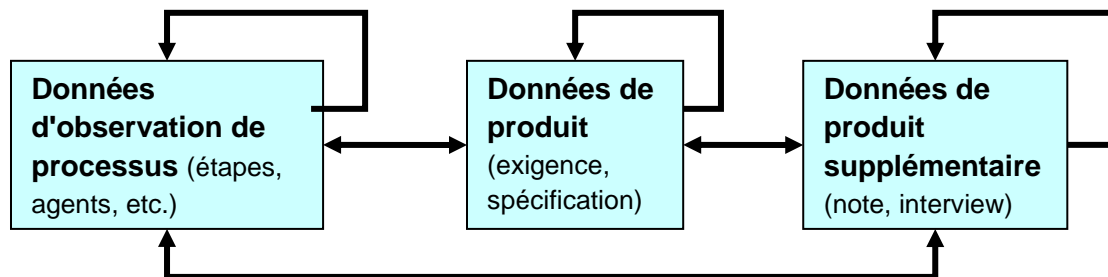


Figure 8 : Dépendances entre les informations de traçabilité

Pour enregistrer les informations de traçabilité citées dans le tableau 10, l'approche OM propose quatre étapes présentées dans le tableau 11. Le responsable d'un processus peut définir dans quelles situations la trace définie doit être exécutée.

Le guidage des utilisateurs pour la capture des informations de traçabilité est basé sur les étapes des processus de chaque méthode.

Etapes	Description
Les étapes de processus	Enregistrent les informations sur le produit en cours de développement. Les méthodes existantes définissent les directives nécessaires pendant le développement de produit en spécifiant les étapes de processus et les mécanismes de leur contrôle. Par exemple, les étapes du processus de la méthode à base d'Entité Relations fournissent des directives pour créer, modifier, et supprimer des entités ou des relations.
Les étapes de produit supplémentaires	Spécifient comment créer et saisir les informations d'un produit supplémentaire, par exemple, des décisions et leurs arguments ou bien les structures de contribution.
Les étapes d'observation de processus	Enregistrent des informations sur l'exécution des étapes de processus et les étapes de produit supplémentaires en surveillant l'exécution de leur processus. Par exemple, une étape d'observation de processus peut enregistrer toutes les étapes de processus exécutées pendant l'intégration d'un changement.
Les étapes de dépendance	Capturent les dépendances entre les artefacts créés par les étapes précédentes. Par exemple, une étape de dépendance peut spécifier que les produits modifiés pendant une intégration particulière de changement doivent être liés à l'approbation de changement.

Tableau 11: les étapes de capture des informations de traçabilité

La figure 9 montre les types de liens de traçabilité capturés par l'approche OM. Ces informations proviennent principalement de l'exécution des méthodes appliquées dans un processus de développement.

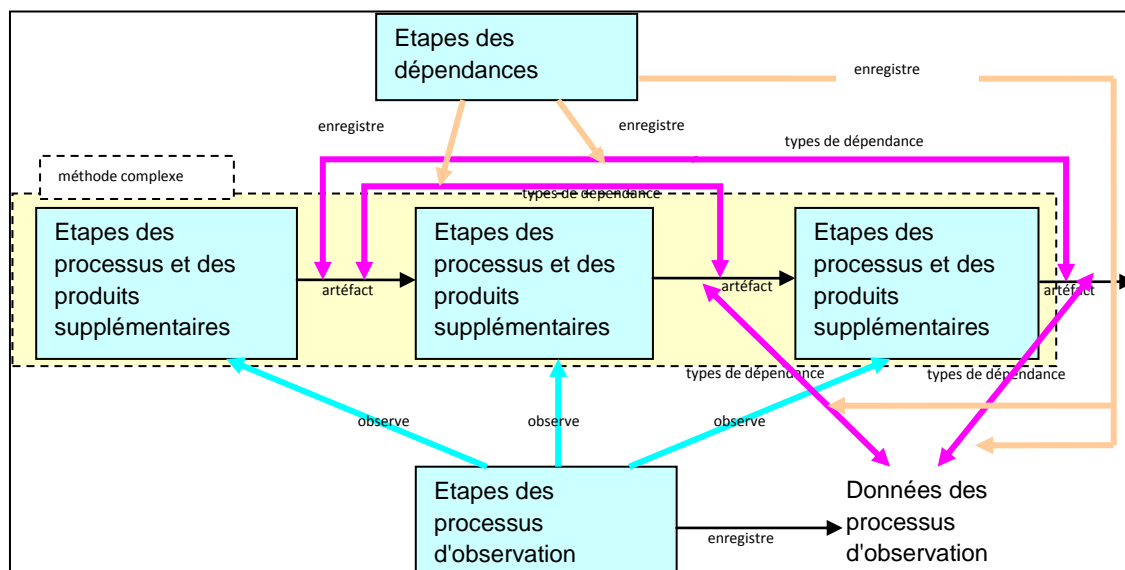


Figure 9: Types de liens entre étapes et les différents produits

En résumé, cette approche propose un guidage des utilisateurs dans le processus de capture des informations de traçabilité. En revanche, les informations capturées se limitent aux informations relatives aux produits des méthodes d'ingénierie des besoins appliquées dans le processus de développement des systèmes. En outre, l'approche ne présente pas un mécanisme de modélisation des informations de traçabilité suivant le contexte d'un projet. Par conséquent, plusieurs informations inutiles sont capturées. L'environnement logiciel proposé dans l'approche n'est pas adapté à un contexte industriel, car elle se base sur les environnements PCEE (Process Centered Engineering Environments) [Pohl, 96] [Pohl, 99] qui sont rarement utilisés et pas intégrables avec les outils CASE utilisés par les entreprises.

Un autre problème dans cette approche est lié au manque de guidage des utilisateurs dans la gestion et l'utilisation des informations capturées.

Positionnement par rapport au cadre de référence :

Comme le montre le tableau 12, l'approche orientée méthode ne prend pas en compte les Facettes suivantes : Contexte et organisation du projet, Contributeur, gestion de configuration et, le processus de capture de besoin et d'usage des informations de traçabilité.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte, graphique, Image
		Notation	formelle, Informelle
	Représentation	Affichage	Autre
		Interactivité	Dynamique
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Mixte
	Contexte	Système	Oui
		Environnement	Oui
		Projet	Non
		Organisation	Non
		Utilisateur	avancé
	Argumentation	Positions	Oui
		Arguments	Oui
		Issues	Oui
		Décision	Oui
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes, données informelles, justification
		Processus	processus de conception, raisonnement
		Contributeur	Aucun
		Relation	relation entre artéfact, relation entre processus, relation entre processus et artéfact
		Evolution	Changement, évolution des liens
Objectif	But	Capture des traces	Oui
		Construction des liens	Oui
		Gestion de configuration	Non
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	pré-traçabilité
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Semi-auto

		Capture	Auto, Semi-auto
		Utilisation	Aucun
		Maintenance	Aucun

Tableau 12: Positionnement de l'approche OM

3.4 Une approche de traçabilité à base de scénarios (SBT)

L'approche SBT est une technique utilisée dans le domaine d'ingénierie logicielle pour la création des liens de traçabilité entre un code source et les différents artefacts associés à un système finalisé.

Le but de l'approche SBT est de tracer la couverture des liens entre les spécifications et l'implémentation durant la phase de réingénierie ou de maintenance des systèmes. L'approche génère des liens de traçabilité par observation des scénarios de test appliqués à un système en exécution.

Deux conditions sont essentielles pour que l'approche fonctionne [Egyed, 01] [Egyed et al., 02]:

- Un système qui fonctionne, mais pas nécessairement complet ; il suffit d'avoir un prototype ou une partie du système.
- Un modèle décrivant le système (par exemple un diagramme des classes UML).
- Des scénarios de test applicables.

Les quatre types de liens de traçabilité générés par l'approche sont (voir également la Figure 10) :

- (a) trace entre les scénarios de test et le système,
- (b) trace entre les éléments des modèles et le système,
- (c) trace entre les éléments des modèles et le scénario, et
- (d) trace entre les éléments des modèles

L'approche se déroule suivant un processus composé de quatre activités principales, appelées: *Hypothesizing*, *Atomizing*, *Generalizing*, et *Refining*.

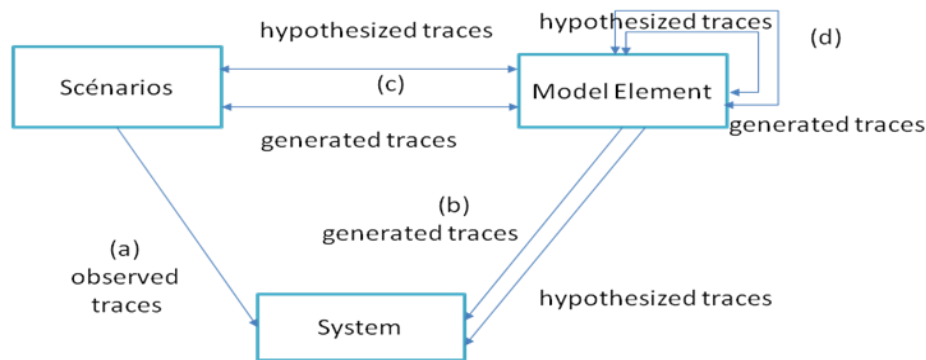


Figure 10: Les liens de traçabilité générés par l'approche SBT

En résumé, l'approche SBT propose une technique de capture de nouveaux types d'informations de traçabilité d'un système à partir de scénarios de test. Les informations de traçabilité capturées sont générées et validées d'une manière itérative.

Positionnement par rapport au cadre de référence :

Comme le montre le tableau 13, l'approche SBT ne prend pas en compte les Facettes suivantes : Contexte, Argumentation, Contributeur, Gestion de configuration et le Processus de capture et d'usage des informations de traçabilité. Elle se focalise sur la capture d'information de traçabilité principalement dans la phase de maintenance des systèmes.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte, Prototype
		Notation	formelle, Semi formelle
	Représentation	Affichage	Tableau
		Interactivité	Dynamique
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Instance
	Contexte	Système	Oui
		Environnement	Non
		Projet	Non
		Organisation	Non
		Utilisateur	débutant
	Argumentation	Positions	Non
		Arguments	Non
		Issues	Non
		Décision	Non
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes
		Processus	Aucun
		Contributeur	Aucun
		Relation	relation entre artéfact
		Evolution	Aucun
Objectif	But	Capture des traces	Oui
		Gestion des liens	Non
		Gestion de configuration	Non
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	post-traçabilité
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Aucun
		Capture	Auto
		Utilisation	Aucun

		Maintenance	Aucun
--	--	-------------	-------

Tableau 13: Positionnement de l'approche SBT

3.5 Une approche de traçabilité à base d'évènement (EBT)

Cette approche [Cleland-Huang 02b] [Cleland-Huang 03a] propose de résoudre les problèmes liés à l'évolution des informations de traçabilité. Elle propose une nouvelle méthode basée sur la notification d'évènements afin de maîtriser le processus de gestion des changements de données.

L'approche propose de relier les exigences et les artefacts via un mécanisme de publication des évènements («Publisher-subscriber»). Les exigences et les indicateurs de changement prennent le rôle de « Publisher », tandis que les artefacts associés aux exigences agissent en tant que « subscriber » (abonnés). Si une exigence est modifiée, les évènements de notifications sont publiés dans un serveur d'évènements et les notifications sont envoyées à tous les abonnés reliés à l'exigence. Les messages transportent les informations nécessaires qui fournissent une sémantique significative de chaque évènement.

La figure 11 montre l'architecture de l'approche EBT. Elle est composée d'un gestionnaire d'exigences, un serveur d'évènement « event-server », et le gestionnaire d'abonnement « subscriber manager ». Les trois composants sont reliés en utilisant un mécanisme standard de communication.

- Le gestionnaire d'exigences traite les exigences et est responsable du déclenchement des évènements de changement.
- Le gestionnaire d'abonnement : (i) place les abonnements à côté des artefacts, (ii) inscrit les activités appropriées après chaque évènement, (iii) traite les notifications d'évènement concernant les artefacts, et (iv) gère la configuration des informations de traçabilité associées à chaque évènement.
- Le serveur d'évènement: (i) gère les notifications, (ii) reçoit des messages d'évènement, (iii) adapte les notifications d'évènement selon le modèle de processus spécifié et selon les abonnements, et (iv) expédie les directives sous forme de message de notification envoyées aux abonnés.

L'avantage principal de mettre en application une approche à base d'évènement pour supporter la traçabilité est que, un serveur d'évènement traite la coordination entre les "propriétaires" des artefacts pouvant être situés dans un environnement distribué.

L'approche supporte un système automatisé de visualisation et de gestion de l'état des mises à jour de tous les artefacts.

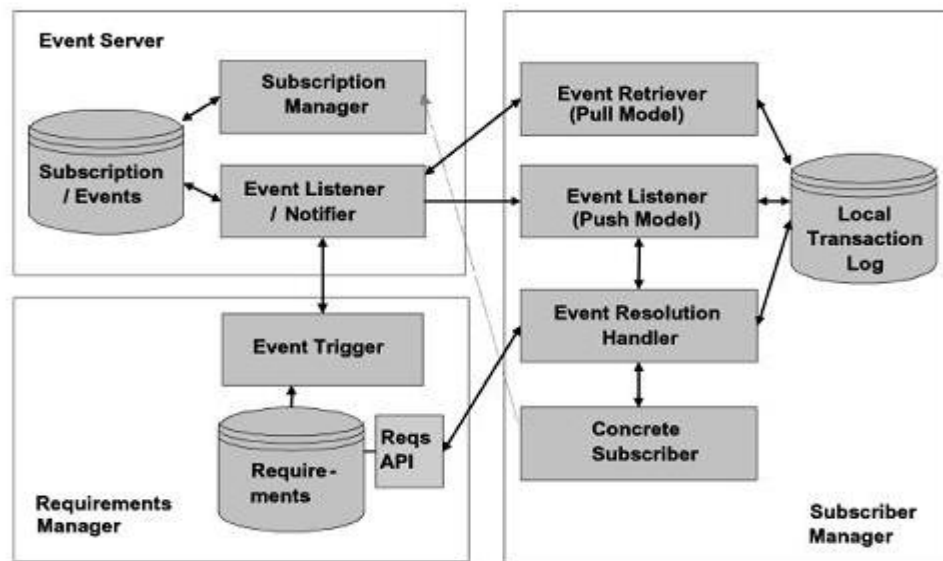


Figure 10: Architecture de l'approche EBT

En résumé, cette approche propose une technique de traçabilité des changements basée sur la notification d'évènements. Elle est applicable en particulier dans des environnements de développement hétérogènes et distribués. L'approche supporte également le travail de gestion de projet concernant le maintien et la mise à jour des artefacts.

En revanche, l'approche se focalise uniquement sur l'aspect gestion des changements et ne montre pas comment intégrer la solution proposée dans le cadre d'une solution globale de traçabilité tout au long d'un projet.

Positionnement par rapport au cadre de référence :

Comme le montre le tableau 14, l'approche EBT ne prend pas en compte les Facettes suivantes : Contexte, Argumentation, Contributeur, et le processus de capture et d'usage des informations.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte, graphique, Image
		Notation	formelle
	Représentation	Affichage	Tableau
		Interactivité	Dynamique
Contenu	Abstraction	Granularité des liens	Instance
	Contexte	Système	Oui
		Environnement	Non
		Projet	Non
		Organisation	Non
		Utilisateur	{débutant, avancé}
	Argumentation	Positions	Non
		Arguments	Non
		Issues	Non
		Décision	Non
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes
		Processus	Aucun
		Contributeur	Aucun
		Relation	relation entre artéfact
		Evolution	changement, analyse d'impacte, consistance, notification, évolution des liens
Objectif	But	Capture des traces	Non
		Construction des liens	Non
		Gestion de configuration	Oui
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	post-traçabilité
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Aucun
		Capture	Aucun
		Utilisation	Aucun
		Maintenance	Auto

Tableau 14: Positionnement de l'approche EBT

3.6 Une approche de traçabilité à base de recherche documentaire (IR)

Les techniques de recherche d'information (IR) sont utilisées pour automatiser la création des liens de traçabilité entre les artéfacts et les exigences produites dans un projet par l'intermédiaire d'un mécanisme de requête, c'est-à-dire, par des algorithmes qui réalisent des recherches sémantiques sur le contenu des artéfacts. Ces derniers doivent être stockés préalablement dans une base de documents. Ensuite, les liens de traçabilité sont créés par analyse des résultats de cette recherche.

Un travail préliminaire d'organisation et de classement des documents est nécessaire avant l'interrogation de la base des documents. Ce travail consiste à indexer et créer des attributs identifiants chaque document (ou artéfact). Cette classification permet aux utilisateurs de vérifier les relations entre les artéfacts et pour valider les liens générés par les algorithmes de recherche IR [Antoniol 00] [Antoniol 02].

L'efficacité d'une telle technique est mesurée par rapport à deux métriques principales, le *rappel* (recall) et la *précision* (precision) [Antoniol 00] [Hayes 03]. Le rappel peut être défini par le rapport entre le nombre de liens corrects retrouvés (en réponse à une requête) sur le nombre total de liens créés. La précision est définie par le pourcentage des liens trouvés par le rappel qui correspond au sujet de la requête.

Il est important de noter que même si le mécanisme de requête IR est automatisé, il prévoit une intervention manuelle pour s'assurer que les liens trouvés sont d'une importance significative pour la requête demandée.

Cependant, malgré l'inconvénient de l'usage d'une intervention manuelle requise dans les IR pour des questions de précision, des études ont prouvés que la recherche et l'association des liens en utilisant les IR est encore plus rapide qu'une approche 100% manuelle.

L'IR est très bénéfique dans le cas où le nombre de liens entre les artefacts et les exigences est très grand, et aussi quand la traçabilité manuelle est très coûteuse en terme de temps et d'effort.

Positionnement par rapport au cadre de référence :

L'approche à base d'IR ne capture que les liens de traçabilité entre des artefacts existants. Elle ne prend pas en compte les Facettes et attributs suivants: Contexte, Argumentation, Processus, Contributeur, Evolution, Besoins, etc.

Vue	Facette	Attribut	Valeur
Forme	Description	Moyen	texte, graphique
		Notation	Semi formelle
	Représentation	Affichage	Tableau
		Interactivité	Dynamique
Contenu	Abstraction		Instance
	Contexte	Système	Oui
		Environnement	Non
		Projet	Non
		Organisation	Non
		Utilisateur	débutant
	Argumentation	Positions	Non
		Arguments	Non
		Issues	Non
		Décision	Non
	Couverture	Artefact	produit des méthodes
		Processus	Aucun
		Contributeur	Aucun
		Relation	relation entre artefact
		Evolution	Aucun
Objectif	But	Capture des traces	Oui
		Gestion des liens	Oui
		Gestion de configuration	Non

Cycle de vie	Types de traçabilité	Types post-traçabilité	
	Processus	Besoins	Non
		Construction	Aucun
		Capture	Semi-auto
		Utilisation	Aucun
		Maintenance	Aucun

Tableau 15: Positionnement de l'approche IR

4 Les outils de traçabilité dans le commerce

Les outils de gestion de la traçabilité des exigences ont pour objectif l'intégration et la traçabilité des pratiques d'ingénierie système dans un processus de développement. En particulier dans des environnements distribués.

Les outils offrent plusieurs fonctionnalités qui ont pour objectif l'amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus de développement: sauvegarde des données, mécanismes de communication, gestion de configuration et export/import des données, etc.

La plupart des outils gèrent des bases de données de traçabilité, ils enregistrent les livrables et créent des liens de traçabilité entre les données de ceux-ci. Ils intègrent également des moyens pour la gestion de configuration des données de traçabilité et permettent donc de connaître la dernière version de chaque livrable d'un projet.

Les outils facilitent également la création d'attributs associés à chaque livrable afin de permettre la structuration des données. Il est également possible de faire des statistiques sur les différentes données stockées dans la base de données de gestion de la traçabilité.

Un rapport de INCOSE (INternational COuncil on Systems Engineering) survole l'ensemble des outils commerciaux du marché et présente un comparatif des fonctionnalités de ses outils [INCOSE, 08]: CORE [Vitech, 08], DOORS [Telelogic, 08], icCONCEPT RTM [Chipware, 08], RDD-100 [Ascent Logic, 08], RequisitePro [Rational, 08], SLATE [Tdtechno, 08], Caliber [Borland, 08].

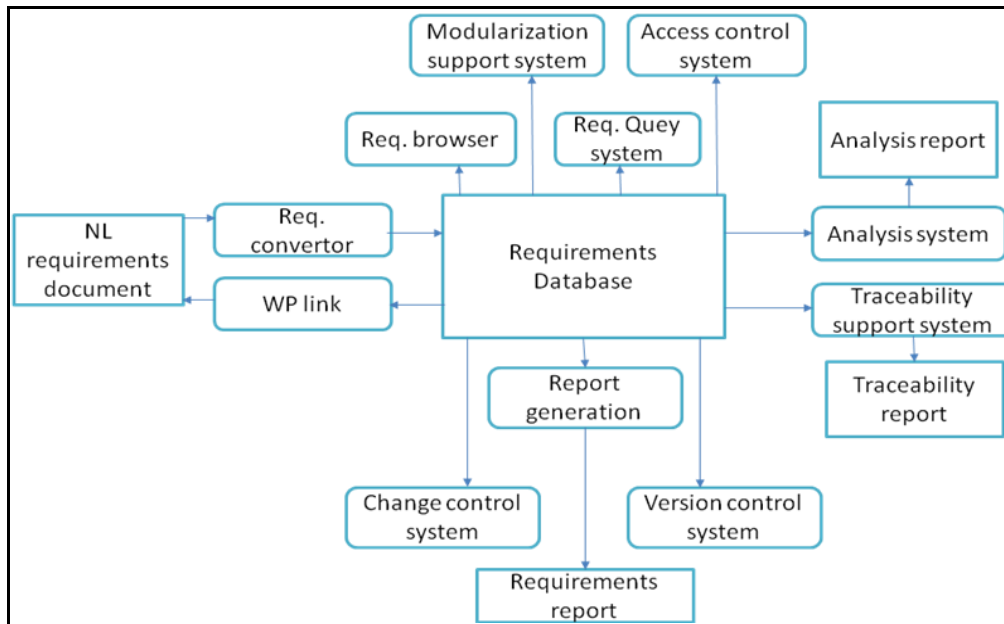


Figure 11 : Architecture des outils de gestion et traçabilité des exigences

La figure 11 montre un aperçu de l'architecture logique des outils de gestion de la traçabilité. Ces derniers présentent les caractéristiques suivantes:

- Des types de données prédéfinies qui aident à la capture automatique ou manuelle des informations de traçabilité.
- Un mécanisme de filtrage et des requêtes paramétrables de recherche d'information
- Une gestion de configuration des données de traçabilité
- Un mécanisme d'affiche des matrices de traçabilité
- Un support du travail collaboratif
- La gestion des attributs associés à chaque artéfact

Malgré tous les outils disponibles, les entreprises éprouvent encore des difficultés à intégrer la traçabilité dans leurs projets de développement. En effet, les outils ne fournissent aucun moyen pour définir qui, comment et quand capturer les informations de traçabilité. Il ne propose aucun moyen pour guider les utilisateurs dans la capture et l'utilisation des informations de traçabilité. Ces derniers dépensent beaucoup d'énergie et de temps sur le paramétrage de l'outil et sur la recherche de solution qui répond à leurs besoins.

5 Conclusion

Le cadre de référence présenté dans ce chapitre permet d'évaluer les différents aspects de la traçabilité des exigences traités par les approches existantes. Ces derniers se préoccupent de résoudre une partie des problèmes liés à la traçabilité des exigences. Ainsi, ce cadre de référence illustre les dimensions à travers lesquelles nous pouvons évaluer les approches existantes. Il nous a permis de situer les points qui manquent dans chaque approche.

En outre, nous avons constaté que pour implémenter une approche de traçabilité dans un projet il n'est pas suffisant d'utiliser une seule approche. En effet, certains projets sont multi disciplinaires et utilisent des concepts et des pratiques différentes. Par conséquent, l'application de l'une des approches citées dans ce chapitre ne permet pas de tracer les différentes catégories d'informations produites dans un projet. D'où la nécessité d'une approche cohérente qui intègre les multiples aspects de traçabilité.

D'autre part, les outils de traçabilité du commerce se focalisent sur la définition de types de données permettant la représentation des informations produites dans un projet. Ils fournissent également des moyens de création des liens de traçabilité. En revanche, ils ne proposent pas un guidage de la construction des modèles de traçabilité et leurs mécanismes d'automatisation de la capture des informations de traçabilité sont très basiques. Par conséquent, les utilisateurs de la traçabilité trouvent des difficultés à déployer un modèle de traçabilité dans leurs projets.

L'approche MV-TMM que nous proposons dans cette thèse permet de gérer le problème de la gestion de la traçabilité des exigences dans un projet de développement. Elle propose un méta modèle qui prend en compte les multiples facettes de ce problème. Le méta modèle est accompagné par un processus multi chemins pour le guidage de la capture et de l'exploitation des informations de traçabilité. Les chapitres suivants donnent plus de détails sur l'approche MV-TMM.

Le tableau ci-dessous présente un résumé des différentes valeurs des attributs des approches de traçabilité présentées dans cet état de l'art.

Vue	Facette	Attribut	[Jarke, Ramesh 01]	[Gotel 95]	[Pohl et al. 97]	[Hayes 03]	[Cleland-Huang 03a]	[Egyed 02]
Forme	Description	Moyen	texte, graphique	texte	texte, graphique, Image	texte, Prototype	texte, graphique, Image	texte, graphique
		Notation	formelle, Semi formelle	Informelle	formelle, Informelle	formelle, Semi formelle	formelle	Semi formelle
	Représentation	Affichage	Arbre	Tableau	Autre	Tableau	Tableau	Tableau
		Interactivité	Statique	Statique	Dynamique	Dynamique	Dynamique	Dynamique
Contenu	Abstraction		Mixte	Instance	Mixte	Instance	Instance	Instance
	Contexte	Système	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
		Environnement	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
		Projet	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui
		Organisation	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
		Utilisateur	{débutant, avancé}	débutant	avancé	débutant	{débutant, avancé}	débutant
	Argumentation	Positions	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
		Arguments	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
		Issues	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
		Décision	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
	Couverture	Artéfact	produit des méthodes, données informelles, justification	données informelles	produit des méthodes, données informelles, justification	produit des méthodes	produit des méthodes	produit des méthodes
		Processus	Processus de raisonnement	Aucun	processus de conception, raisonnement	Aucun	Aucun	Aucun
		Contributeur	Aucun	Catégorie, rôles, structure, engagement	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
		Relation	relation entre artéfact, relation entre processus, sémantique des	relation de contribution, sémantique des relations	relation entre artéfact, relation entre processus, relation entre	relation entre artéfact	relation entre artéfact	relation entre artéfact

			relations		processus et artéfact			
		Evolution	Changement, évolution des liens	Aucun	Changement, évolution des liens	Aucun	changement, analyse d'impacte, consistance, notification, évolution des liens	Aucun
Objectif	But	Capture des traces	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
		Construction des liens	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui
		Gestion de configuration	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
Cycle de vie	Types de traçabilité	Types	pré-traçabilité, post-traçabilité	pré-traçabilité	pré-traçabilité	post-traçabilité	post-traçabilité	post-traçabilité
	Processus	Besoins	Non	Non	Non	Non	Non	Non
		Construction	Manuel	Manuel	Semi-auto	Aucun	Aucun	Aucun
		Capture	Manuel	Manuel	Auto, Semi-auto	Auto	Aucun	Semi-auto
		Utilisation	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
		Maintenance	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Auto	Aucun

CHAPITRE 3

LE META MODELE DE TRAÇABILITE MV-TMM

1 Introduction

Tout au long du cycle de vie d'un projet d'ingénierie interviennent divers acteurs à travers les différentes tâches qui composent le processus de développement. Le besoin de traçabilité d'un acteur de ce processus est variable selon la nature de la tâche dans laquelle il intervient et selon le point de vue qu'il adopte sur le processus en cours. D'un point de vue gestion de projet par exemple, le chef de projet a besoin de capturer les informations de traçabilité relatives aux évolutions et aux changements des besoins du client lors de la phase de récolte des besoins. D'autre part et d'un point de vue ingénierie du système, le chef de projet a besoin de s'assurer que chaque besoin a été correctement implanté et de vérifier que toutes les exigences du client ont bien été recensées et prises en compte. Selon ce même point de vue de l'ingénierie du système, le souci d'un autre acteur du projet tel que l'architecte est de vérifier la cohérence entre les interfaces des composants systèmes en gardant la trace des liens de dépendance entre ceux-ci. Enfin, et selon le point de vue qualité, l'ingénieur qualité se préoccupe du respect des normes et des standards et souhaite grader trace des contraintes règlementaires auxquelles chaque composant système doit se conformer.

Le méta modèle MV-TMM (*Multi View Traceability Management Method*) présenté dans ce chapitre introduit un ensemble de concepts génériques et définit un langage permettant de modéliser toutes les informations de traçabilité requises dans le cadre d'un projet de développement. Le souci sous-jacent à l'élaboration de ce méta modèle est d'une part de satisfaire les différents besoins de tous les acteurs impliqués dans un projet, et d'autre part, de prendre en compte la multitude des formes et la diversité des sources des informations de traçabilité. En se basant sur l'état de l'art présenté dans le chapitre précédent, et pour répondre aux problèmes d'incomplétude et d'insuffisance associés aux méta modèles proposés dans les

approches existantes, nous avons adopté les quatre principes suivants dans l'élaboration de ce méta modèle:

- La prise en compte des besoins spécifiques de chaque situation d'un projet.
- Une vision multi perspectives des informations de traçabilité
- La représentation des différentes catégories d'informations de traçabilité.
- L'utilisation des mécanismes d'abstraction.

Dans la suite du présent chapitre, nous commençons par présenter ces quatre principes et introduire les concepts du méta modèle. Ensuite, les caractéristiques détaillées de chaque élément du méta modèle sont présentées et illustrées avec des exemples.

2 Principes régissant le méta modèle de traçabilité MV-TMM

2.1 La prise en compte des besoins spécifiques de chaque situation d'un projet

Les projets de développement n'ont pas les mêmes objectifs et moyens de gestion; ils se distinguent selon plusieurs critères tels que la taille, le nombre de participants, le domaine métier du projet, la complexité du système en développement, les méthodes et les outils utilisés, etc. Ces caractéristiques déterminent un ensemble de besoins de traçabilité spécifiques que le chef de projet doit prendre en compte dans la définition et le choix d'un modèle de traçabilité. Dans un projet de petite taille sans grande complexité, il est possible de satisfaire le besoin de traçabilité au moyen de modèles simples. Dans d'autres projets de plus grande taille soumis à des contraintes critiques, le chef de projet peut exiger la capture de toutes les informations directement ou indirectement liées aux exigences des utilisateurs finaux et aux différents artefacts du processus de développement. En résumé, un modèle de traçabilité conçu pour un projet n'est pas forcément adapté au cas d'un autre projet [Dömges, 98] [Ramesh, 98]. Pour proposer un méta modèle générique de traçabilité, il est indispensable d'intégrer des mécanismes d'adaptabilité à la situation spécifique de chaque projet.

Une solution à ce problème d'adaptabilité a été proposée dans des approches à base de modèles de références qui représentent les informations de traçabilité dans des modèles qui capitalisent l'expérience des entreprises vis-à-vis de la traçabilité [Ramesh, 01]. Cependant, ce genre de solution ne peut pas couvrir toutes les expériences des entreprises et ne prévoit pas le cas des projets évolutifs. En outre, l'instanciation des modèles de référence ne prend pas en compte la

particularité de chaque projet et les utilisateurs de ce genre de modèle n'ont pas de moyen de guidage de leurs utilisations.

Dans le méta modèle MV-TMM que nous proposons, le recueil explicite du besoin de traçabilité de tous les acteurs du projet ainsi que du contexte de celui-ci contribuent à la définition des éléments d'un modèle de traçabilité adapté au projet.

2.2 Multi perspectives

Les six catégories d'information de traçabilité définies dans le méta modèle MV-TMM permettent la représentation des informations de traçabilité d'un projet selon plusieurs points de vue. En effet, toutes les informations de traçabilité ne sont ni utiles ni pertinentes pour tous les acteurs d'un projet et sont destinées à satisfaire des besoins différents. Pour le chef de projet par exemple, la traçabilité des évolutions des exigences du client et la traçabilité de l'implantation de ces exigences par les composantes du système correspondent à des visions différentes des informations de traçabilité. Chaque perspective décrit en fait une partie du modèle de traçabilité d'un projet suivant les points de vue d'usage envisagé. En d'autres termes, le multi perspectives combine les catégories d'informations de traçabilité afin de répondre à un point de vue.

La notion de multi perspectives a été appliquée dans d'autres domaines tels que la modélisation des entreprises et la représentation des connaissances [Nissen, 99] [IRDS, 90] [Nuseibeh, 94] [Robinson, 94]. Son importance réside dans l'utilisation de parties de différents modèles, décrivant plusieurs points de vue. Les parties de modèles de traçabilité sont complémentaires et le modèle constitué par assemblage de ces parties constitue un seul modèle.

La figure 1 illustre le concept de multi perspectives du méta modèle MV-TMM :

- Le méta modèle intègre les différents concepts qui aident à la capture des informations de traçabilité.
- Une perspective est une projection d'une partie d'un modèle de traçabilité selon un point de vue (Perspectives P1 ou P2).
- Chaque perspective représente les informations de traçabilité selon un ou plusieurs points de vue.

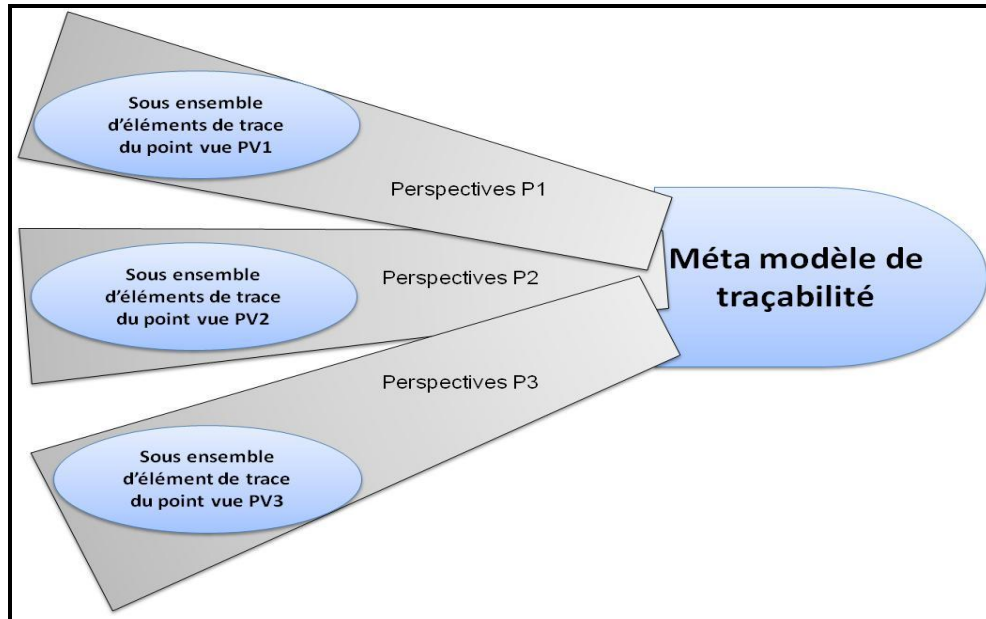


Figure 1: Le concept de multi perspectives de l'approche MV-TMM

En résumé, le concept de multi perspectives permet de mieux traiter la diversité des points de vue d'usage de la traçabilité dans un projet. Il permet ainsi de relier presque toutes les activités d'ingénierie système impliquées dans la capture et le développement des exigences tout au long d'un projet.

2.3 La représentation des différentes catégories d'informations de traçabilité

Dans l'état d'art présenté dans le chapitre précédent, nous avons noté que la représentation des informations de traçabilité peut être très variable selon les modèles proposés. Dans les cas les plus simples, il s'agit d'un simple référencement d'un document vers un autre. Dans les cas plus complexes, c'est une représentation plus hétérogène qui fait intervenir le processus de capture des besoins (acteurs, justifications, versions, etc.), la spécification des exigences (besoin, contrainte, etc.) et du produit de la conception du système qui est censé répondre aux besoins spécifiés.

Plusieurs solutions au problème de la représentation multiple et hétérogène des informations de traçabilité ont été envisagées dans le domaine de la recherche et de l'édition de logiciels [Gotel, 95] [Cleland-Huang, 04] [Egyed, 03] [Hayes, 03] [Anatonial, 02]. Certaines solutions proposent des modèles qui se focalisent uniquement sur une seule catégorie d'information de traçabilité. Elles représentent par exemple des informations liées uniquement à la justification des

exigences ou à des liens de traçabilité. Ces modèles restreignent le périmètre d'utilisation des informations de traçabilité à des applications particulières.

Dans le méta modèle que nous proposons, on représente les principales catégories de base des informations de traçabilité. Ces catégories ont été obtenues par exploitation du cadre de référence présenté dans le chapitre de l'état de l'art. Nous les avons classé en six catégories (Figure 2): Les acteurs, les livrables, les processus, les configurations, les justifications et les liens de traçabilité.

Les six catégories d'informations de la figure 2 ont été utilisées partiellement dans les approches existantes ce qui implique une prise en compte incomplète des besoins d'un projet.

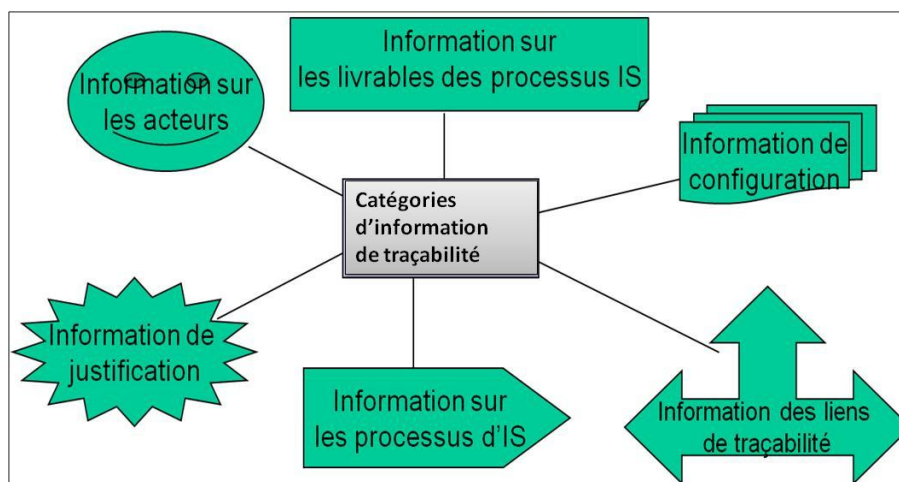


Figure 2: Catégories d'informations de traçabilité

2.4 L'utilisation du principe d'abstraction

Le principe d'abstraction consiste à généraliser plusieurs situations ou instances similaires dans un concept générique. L'abstraction regroupe dans une seule classe uniquement les informations communes entre sous-classes. Nous avons appliqué ce principe dans MV-TMM afin de gérer la diversité des cas d'applications de la traçabilité en définissant les concepts du méta modèle à un niveau d'abstraction élevé. Les concepts génériques du méta modèle et qui sont définis à un niveau d'abstraction élevé, sont instanciés dans le niveau d'abstraction le plus bas (figure 3).

L'instanciation du méta modèle MV-TMM que nous proposons est dirigée par un modèle de contexte au même niveau d'abstraction afin d'aboutir ainsi à un modèle de traçabilité spécifique défini à un niveau de description plus bas (figure 3).

La figure 3 illustre ce principe d'abstraction appliqué par notre approche MV-TMM. Le niveau M2 est celui de plus haut niveau, il est composé du méta modèle MV-TMM et le modèle de contexte de traçabilité. Le modèle de contexte est instancié le premier afin de décrire le contexte et besoin d'un projet. Ensuite le méta modèle MV-TMM est instancié pour la construction d'un modèle de traçabilité répondant aux besoins spécifiés. Enfin, le dernier niveau d'instanciation se préoccupe de la capture des informations de trace.

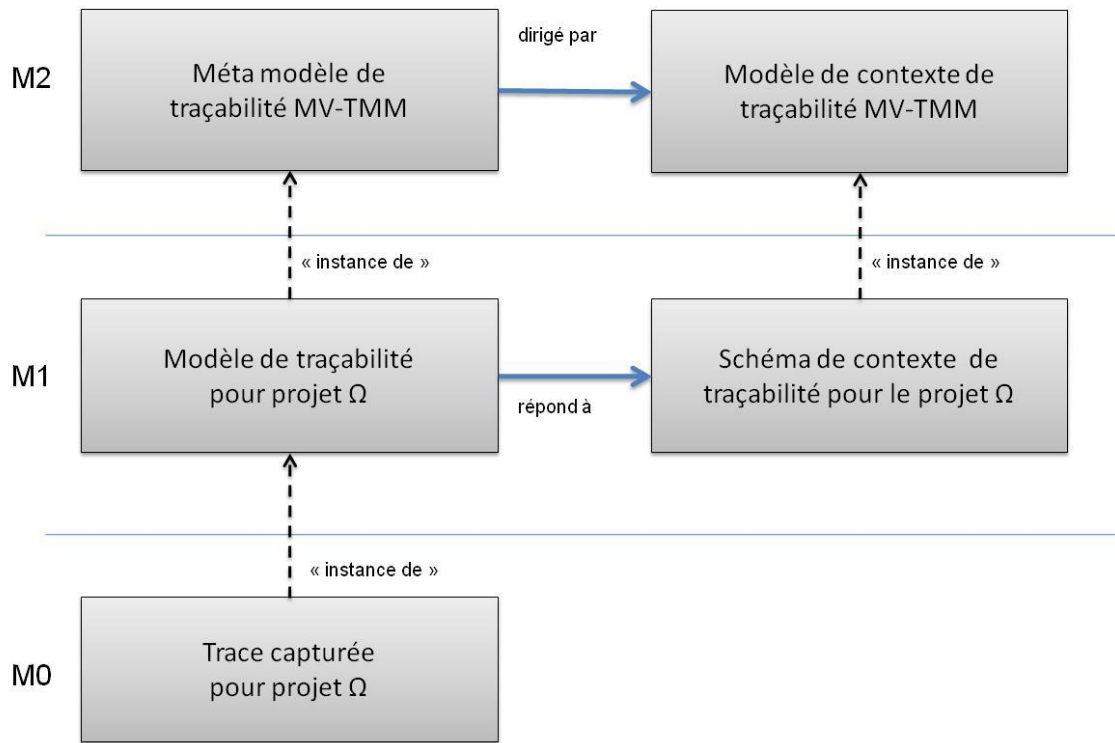


Figure 3: Niveaux d'abstraction de l'approche MV-TMM

3 Description détaillée du méta modèle

Dans cette section nous présentons en détail les différents éléments qui composent le méta modèle de notre approche MV-TMM (Figure 4).

Un *élément* du méta modèle MV-TMM est une entité dont le but est de décrire d'une part le contexte d'un projet et d'autre part le modèle de traçabilité spécifique au contexte et répondant aux besoins.

Nous avons utilisé la notation UML [UML2.0] pour la description des éléments du méta modèle.

Cette section est organisée suivant les éléments du méta modèle. Chaque élément est introduit au début de chaque sous section, puis décrit en détail par des modèles spécifiques. Ensuite,

nous avons introduit une notation graphique qui fournit aux concepteurs des modèles de traçabilité une moyenne de description de leurs modèles. Enfin, un exemple d'usage des éléments est présenté à la fin de chaque sous section.

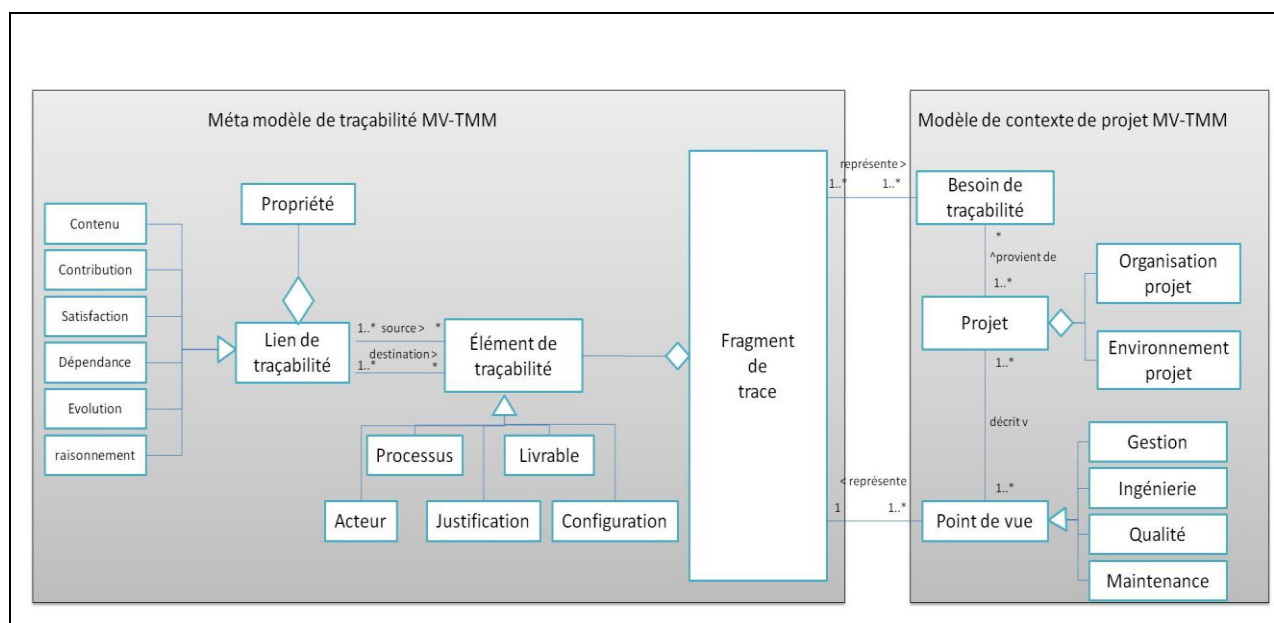


Figure 4: Le méta modèle de l'approche MV-TMM

3.1 L'élément Projet

L'élément *Projet* représente les informations décrivant le contexte d'un projet. Cet élément a pour but la description des caractéristiques du projet, de son environnement et de son type d'organisation. Ces informations sont nécessaires pour la compréhension du contexte du projet car elles permettent l'identification des personnes ou entités considérés comme source des besoins de traçabilité.

L'élément *Projet* est caractérisé par plusieurs informations telles que son objectif, sa taille, les contraintes réglementaires applicables ainsi que les phases du processus global de gestion du projet. La connaissance préalable des contraintes réglementaires, par exemple, impacte le choix des informations de traçabilité d'un projet. La figure 5 montre les différents attributs qui nous semblent essentiels pour caractériser un projet.

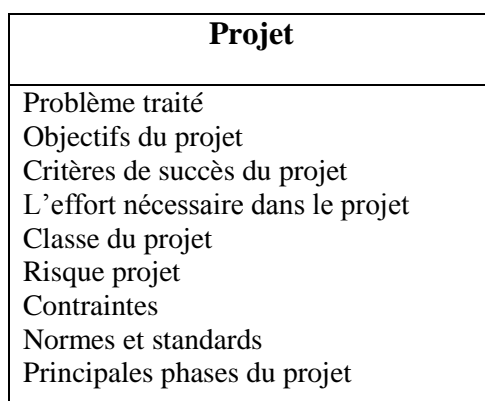


Figure 5: Attributs décrivant l'élément "Projet"

En plus des attributs de la figure 5, un projet est décrit également à travers son environnement et l'organisation qui gère le projet.

L'élément *Environnement projet* se préoccupe de la description des informations relatives à l'environnement social et technique dans un projet. En d'autres termes, il décrit les différents acteurs qui produisent ou utilisent les différents artefacts. Il décrit également les différents outils utilisés pour mener les travaux de gestion ou d'ingénierie.

Le modèle de la figure 6 présente le modèle décrivant en détail la structure de l'élément *Environnement projet*. Celle-ci est composée de personnes et d'outils utilisés par ces derniers.

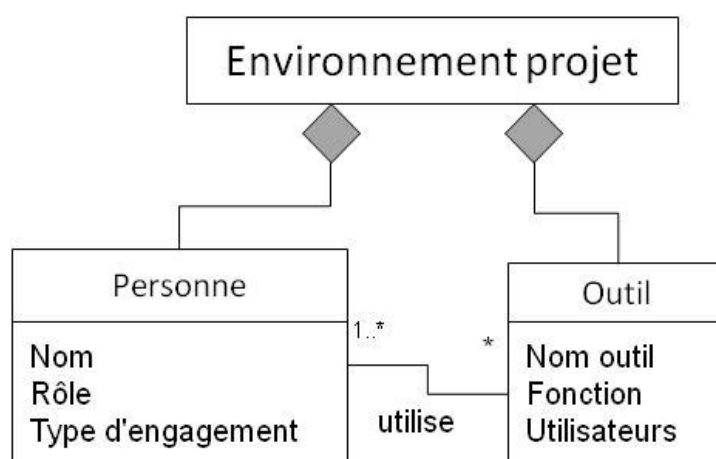


Figure 6: Modèle détaillé décrivant l'élément "Environnement projet"

L'élément *Organisation projet* décrit, quant à lui, les différentes entités impliquées dans un projet. Cet élément représente les différents services ou département d'une entreprise qui travaillent dans le cadre d'un projet. Les fournisseurs et sous traitants sont également représentés par cet élément car ils interviennent souvent dans les projets. Ainsi, nous avons

deux types d'entités qui composent une organisation: interne et externe. Les entités internes sont celles faisant partie de l'organisation qui finance le projet et les entités externes sont les fournisseurs externes à l'organisation.

Le modèle de la figure 7 décrit l'élément *Organisation projet* en donnant plus de détails sur la structure d'une entité.

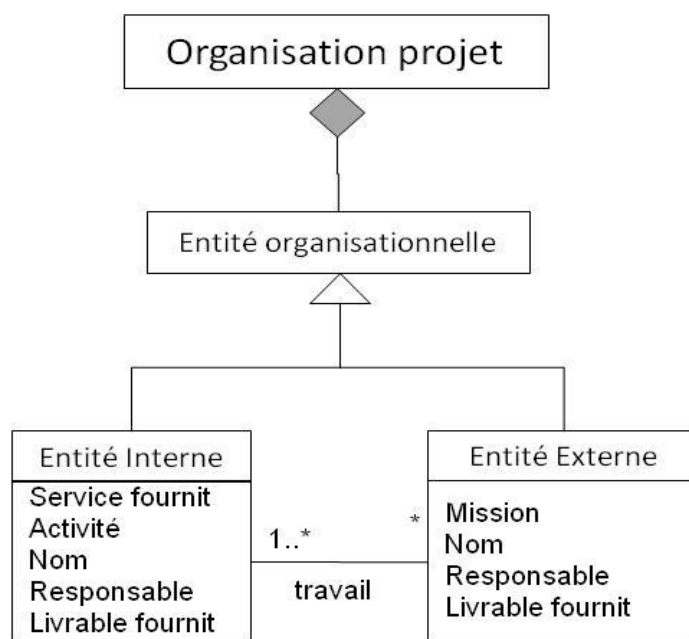


Figure 7: Modèle détaillé décrivant l'élément "Organisation projet"

3.2 L'élément Besoin de traçabilité

L'élément *Besoin de traçabilité* décrit les besoins des différents acteurs du projet ainsi que ceux capturés à travers la lecture des documents projet de types procédures, processus, etc.

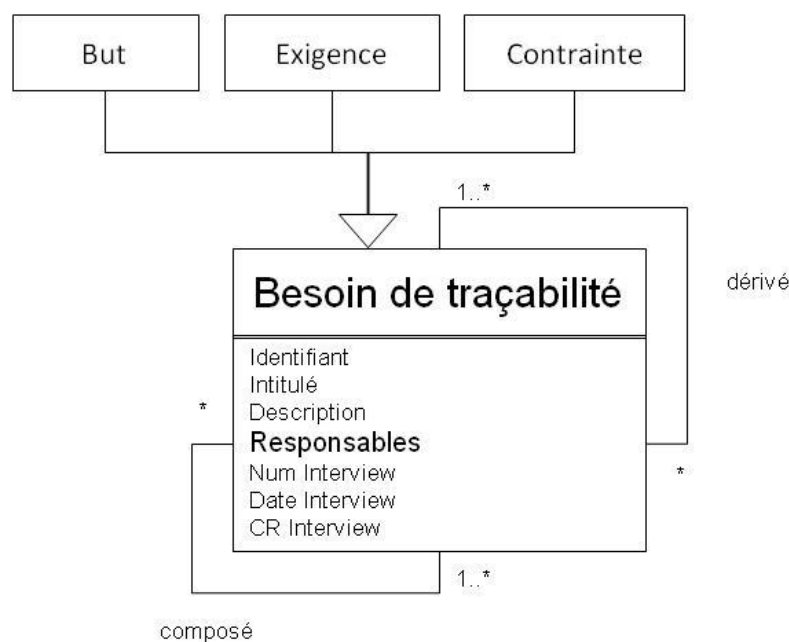


Figure 8: Modèle détaillé décrivant l'élément "Besoin de traçabilité"

La figure 8 présente la structure du modèle décrivant l'élément « Besoin de traçabilité ». Ces derniers sont exprimés en générale par des buts, des exigences ou par des contraintes.

Les buts représentent les objectifs et souhaits des responsables d'un projet. Ils sont souvent abstraits et sans lien direct avec la traçabilité. Les exigences et contraintes expriment des besoins liés directement à la traçabilité. Certaines exigences et contraintes sont dérivées des buts et sont facilement interprétables par les experts du domaine de la traçabilité.

Notre travail dans cette thèse n'est pas centré sur la recherche d'un modèle de besoin. La structure de l'élément *Besoin de traçabilité* est ouverte et peut être décrite par n'importe quel modèle de besoin. Ainsi le modèle de la figure 8 peut changer et l'utilisation des modèles issus du domaine de l'ingénierie du besoin est aussi envisageable [Rolland, 03] [Robertson, 99] [Yu, 95].

3.3 L'élément Point de vue

L'élément *Point de vue* représente les différentes situations d'utilisation des informations de traçabilité dans un projet. Une situation d'utilisation correspond à une activité ou une politique adopté dans un projet qui s'assurer de son bon fonctionnement. Une politique de gestion des risques est un exemple de ce genre de situation.

Afin d'identifier les différents points de vue d'usage de la traçabilité dans un projet, nous avons réalisé une étude comparative de différentes normes de maturité des processus du domaine

d'ingénierie système [IEEE, 04] [CMMi, 08] [FAA, 06] [INCOSE, 08]. Ainsi, nous avons identifié quatre types de points de vue: Gestion, Ingénierie, Qualité et Maintenance.

- *Le point de vue management*: représente les informations de traçabilité du point de vue gestion. L'aspect gestion dans un projet comprend par exemple les stratégies de gestion de projet, la politique de gestion des exigences et d'une manière générale toutes les activités de gestions menées dans le cadre d'un projet [Sommerville, 05] [Pressman, 01].
- *Le point de vue ingénierie*: concerne les informations relatives aux activités de conception et de spécification dans un projet, telles que l'utilisation des méthodes d'ingénierie de besoin, les méthodes d'analyse fonctionnelle et de conception métier, etc. La capture des informations liées aux étapes d'exécution des processus de conception est un exemple d'informations de traçabilité du point de vue Ingénierie [Pohl, 99] [Dogmes, 98].
- *Le point de vue qualité*: La qualité s'assure de la maturité des livrables et du bon fonctionnement des activités menées dans un projet. Les responsables de la qualité d'un projet demande souvent des informations supplémentaires par rapport à chaque livrable pour qu'ils puissent contrôler leurs conformités aux normes et standards [Sommerville, 05] [Kan, 02] [ISO9001-00].
- *Le point de vue maintenance*: L'effort de développement d'un système a comme objectif la livraison d'un produit qui répond aux exigences des utilisateurs. Cependant, une fois que le produit ou une partie de celui-ci est en fonction, il est très probable qu'il subisse des changements ou des évolutions. Ainsi, une phase de maintenance démarre et des nouvelles exigences apparaissent. Le processus de traçabilité doit tracer les changements, les évolutions et leurs justifications tout au long de cette phase [Knethen 02] [Pressman, 01].

L'élément *Point de vue* est relié aux deux éléments *Trace Fragment* et *Projet* du méta modèle MV-TMM: Un Point de vue est défini à partir de l'élément *Projet*. Il représente les informations de traçabilité relatives à un seul *Fragment de trace*.

3.4 L'élément Fragment de trace

L'élément *Fragment de Trace* représente les informations qui caractérisent la décomposition d'un projet. Celle-ci est choisie selon des critères laissés au choix des responsables des projets tels que les phases, les jalons ou cycle de développement adopté pour la gestion du projet.

Un fragment ne représente qu'une partie du modèle de traçabilité du projet. L'assemblage des différentes parties constituent le modèle générique du projet.

Un fragment répond à une partie du besoin de traçabilité d'un projet suivant un ou plusieurs points de vue. Il est composé d'éléments de traçabilité et est relié à d'autres fragments par des liens de traçabilité.

Le modèle de la figure 9 décrit la structure de l'élément *Fragment de trace*. Il donne plus de détails sur les attributs d'un Fragment de trace tels que son nom, son périmètre et le critère de décomposition.



Figure 9: Modèle détaillé décrivant l'élément "Fragment de trace"

3.5 Les éléments de traçabilité

Nous présentons dans cette section l'ensemble des éléments de traçabilité correspondant à chaque catégorie d'information de traçabilité que nous avons identifiée précédemment (figure 2). Chaque élément de traçabilité est décrit par un modèle donnant plus de détails sur sa structure interne.

Les six éléments du méta modèle MV-TMM sont les suivants: l'élément *Acteur*, l'élément *Livrable*, l'élément *Processus*, l'élément *Configuration*, l'élément *Justification* et l'élément *Lien de traçabilité*. Tous ces éléments sont des spécialisations de l'élément *Elément de trace* du méta modèle, à l'exception de l'élément *Lien de traçabilité* qui relie les autres éléments.

3.5.1 L'élément Acteur

Cet élément représente les informations de traçabilité associées à l'environnement social d'un projet. Les informations sur les personnes d'un projet ont déjà été identifiées à travers l'élément *Projet* du modèle de contexte (figure 10).

Nous avons défini la structure de l'élément *Acteur* par le modèle de la figure 10. Nous nous sommes inspirés de l'approche de [Gotel, 95] pour la description du contenu de cet élément.

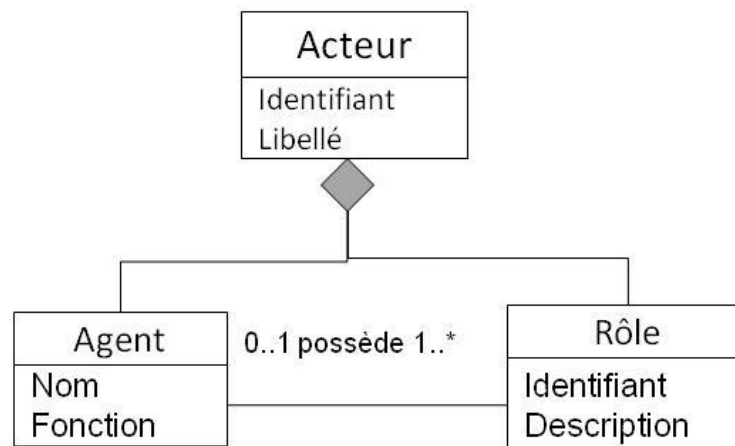


Figure 10: Modèle décrivant l'élément "Acteur"

- L'élément *Acteur* est composé d'*agents* et de *rôle*,
- Un agent représente les personnes impliquées dans la production ou l'utilisation des artefacts d'un projet.
- Une personne peut avoir plusieurs rôles sur les différents artefacts produits dans un projet. En effet, la personne peut être rédacteur d'un artefact et vérificateur d'un autre. Ainsi, l'élément *Acteur* permet de connaître les artefacts et les activités rattachés à chaque personne. Le périmètre d'intervention de chaque agent est identifié à travers l'élément *Rôle*.

Les différentes relations qu'un agent peut avoir vis-à-vis des artefacts sont représentées dans le méta modèle par le type de lien de traçabilité *Contribution*. Le degré d'engagement d'une personne sur un artefact est traduit par l'ajout de propriétés à ce type lien.

Notation graphique de l'élément Acteur:

La figure 11 montre la notation graphique que nous proposons pour la représentation de l'élément *Acteur* dans un modèle de traçabilité. La partie <<Acteur>> désigne le fait que l'élément est un *Acteur*, le [Nom] est le nom de l'acteur et le [Rôle] est son rôle vis-à-vis d'un artefact.

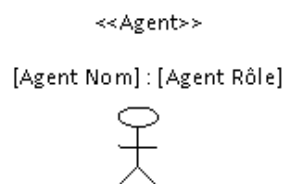


Figure 11: Notation graphiques de l'élément Acteur

La figure 12 présente un exemple d'instanciation de l'élément Acteur. Elle montre également des exemples de liens de traçabilité type *Contribution* entre l'acteur "Toto" et les livrables A et B.

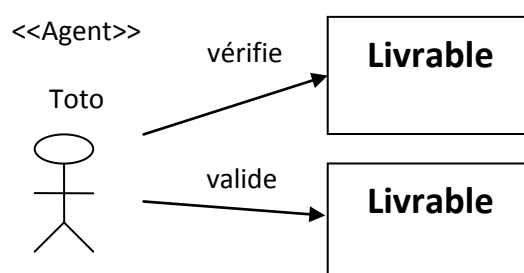


Figure 12: Exemples de relations entre un acteur et un livrable

3.5.2 L'élément Livrable

Un livrable est un artéfact produit (ou utilisé) comme résultat des différentes activités menées dans un projet. Il peut être obtenu par exemple suite à l'application d'un processus ou par utilisation d'un "template".

Le modèle de la figure 13 présente la structure de l'élément *Livrable*. Ce dernier est composé d'*éléments de livrable* et d'*association inter-élément*. Un *élément de livrable* peut être atomique ou composé lui-même d'autres *éléments de livrable*. Des attributs peuvent être attachés à chaque *élément de livrable*. Les *éléments de livrable* sont reliés également par des relations de type spécialisation et composition.

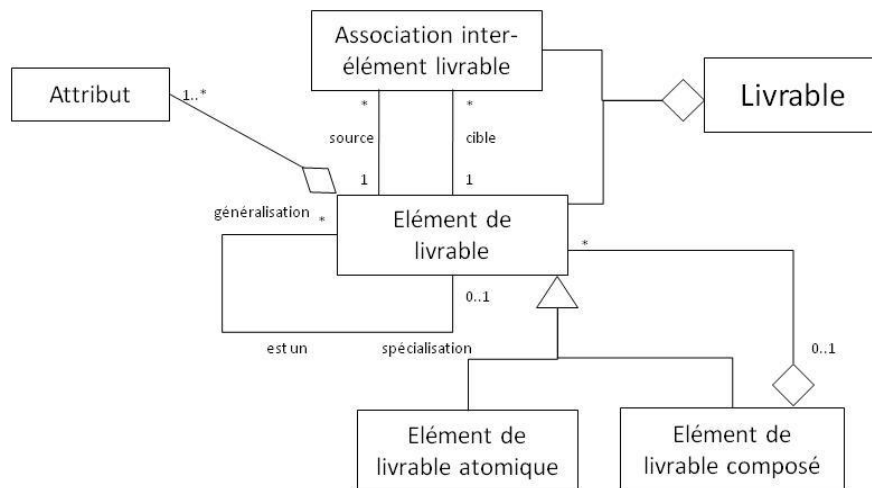


Figure 13: Modèle détaillé décrivant l'élément "Livable"

Notation :

La figure 14 présente la notation graphique que nous proposons pour la description des éléments de type *Livable*. Le symbole est utilisé pour désigner n'importe quel livrable avec uniquement son [Nom]. La description du contenu d'un livrable dépend du modèle utilisé dans un projet.

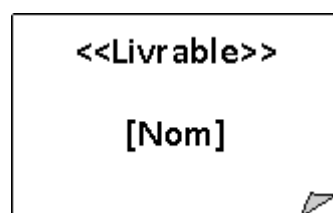


Figure 14: notation graphique des livrables

La figure 15 montre un exemple simple d'éléments *Livable*:

- Les exigences sont les fonctions ou les contraintes qu'un système doit satisfaire pour répondre aux besoins des clients.
- Le modèle Entité/Relation représente les éléments logiciels qui composent le système d'information qui doit répondre aux exigences clients.
- Les relations entre les Besoins, Exigences et le Modèle E/R sont exprimées par des liens de traçabilité (par exemple, *satisfait*, *composé de*).

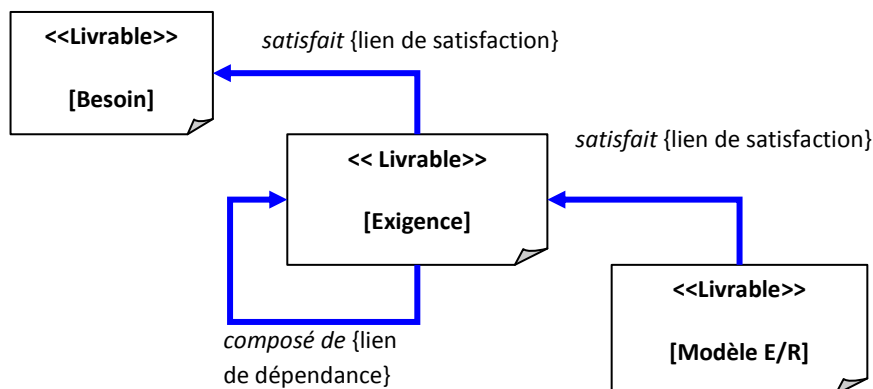


Figure 15: Exemple d'une instance de l'élément "Livvable"

3.5.3 L'élément Processus

L'élément *Processus* enregistre les informations de traçabilité relatives aux activités qui sont à l'origine de la création ou de l'évolution d'un artefact dans un projet.

Notre travail dans cette thèse n'est pas centré sur la définition des processus, mais sur l'utilisation des travaux existants dans ce domaine pour la traçabilité du déroulement des processus. Par conséquent, l'élément *Processus* décrit uniquement les informations de traçabilité liées aux processus indépendamment de leurs définitions. En outre, le domaine d'ingénierie des processus [Jarke, 99] [Rolland, 99] [Ralyté, 01] propose des méta modèles pour la modélisation des processus.

Nous avons adaptés le modèle de processus des cartes MAP [Rolland, 99] afin de l'exploiter dans le cadre de notre contexte de traçabilité. La figure 16 montre le modèle décrivant l'élément *Processus*.

Un *Processus* est composé d'*élément de processus* qui sont à leurs tours composés de directives. Une *directive* décrit des activités permettant l'aboutissement à un produit (par exemple un élément de livrable).

Les directives sont de trois types : informelle , tactique et composée. Une directive tactique propose plusieurs manières d'ordonner les activités dans un processus : d'une façon séquentielle (plan), avec un choix ou exécutable (propose une action via un outil ou manuellement).

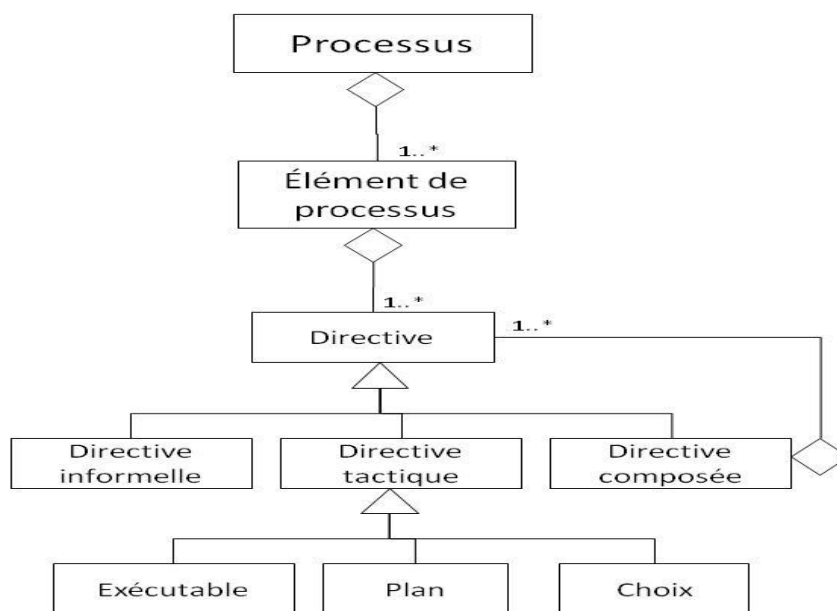


Figure 16: Modèle détaillé décrivant l'élément "Processus"

Les liens de traçabilité associés aux processus sont des liens capturés en regardant l'historique de l'évolution des processus. En effet, Ramesh et Jarke ont classifié ce genre de liens en deux catégories [Ramesh, 01]: des liens de type *Evolution* et des liens de type *Justification* (ou *Raisonnement*). Nous donnons plus de détail sur ces deux liens dans la partie décrivant l'élément *Lien de traçabilité*.

D'autre part, le travail réalisé par Pohl [Pohl et al., 97], que nous avons décrit dans notre chapitre de l'état de l'art, a introduit trois types d'informations de traçabilité liées aux processus en plus des processus d'ingénierie eux même (Figure 17). La liste suivante montre un résumé de ces informations:

- a) Les *processus d'ingénierie*, appliqués dans les activités de conception des systèmes.
- b) Les *processus de justification*, se préoccupent de l'enregistrement des raisonnements à l'origine de la création d'un livrable ainsi que les arguments derrière les raisonnements.
- c) Les *processus de monitoring*, capturent des informations de supervision associées à l'exécution des processus.
- d) Les *processus de dépendances*, capturent les informations sur les liens créés entre les différents livrables.

La capture des informations de type processus se fait au moment de l'instanciation de chacun. Notre travail dans cette thèse s'intéresse uniquement à la représentation de ces processus dans un modèle de traçabilité.

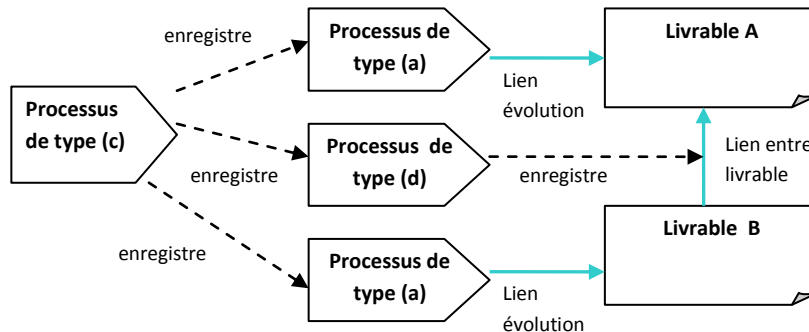


Figure 17: Informations de traçabilité relatives aux processus

Notation :

La figure 18 montre la notation graphique que nous proposons pour désigner l'élément *Processus*. Celle-ci spécifie également le type du processus parmi la liste précédente. Le contenu du processus dépend du langage utilisé pour sa description.

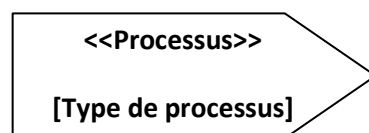


Figure 18: Notation graphique des processus

La figure 19 montre un exemple de modèle simple de processus de la méthode à base d'Entité/Relation (ER).

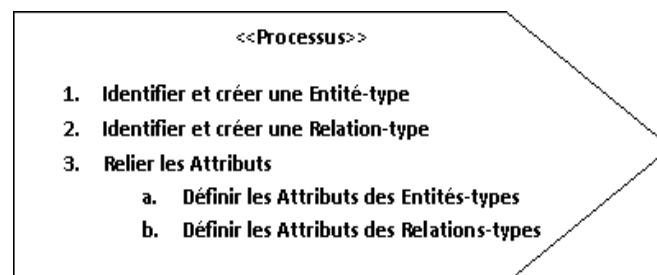


Figure 19: Exemple de processus de la méthode E/R

3.5.4 L'élément *Justification* (ou *raisonnement*)

L'élément *Justification* représente des informations de traçabilité supplémentaires qui sont directement associées aux autres éléments de traçabilité du méta modèle (Livrable, Processus, Configuration, Acteur). En d'autres termes, cet élément enregistre les informations qui relèvent de l'aspect argumentation et prise de décision suite à un changement ou une évolution d'une information de traçabilité. Ainsi, il permet de tracer les choix et les discussions générés par les membres d'un projet lors des travaux de spécification et de conception. Ces informations doivent être maintenues tout au long du cycle de vie du projet pour permettre aux responsables des projets, de tracer la justification de chaque exigence et de s'assurer que les exigences d'un client sont bien comprises et correctement implémenter par les développeurs.

En résumé, la traçabilité des justifications contribue à la bonne compréhension et à l'implémentation correcte des exigences.

Les liens de type *Justification* (ou *Raisonnement*) sont utilisés pour relier l'élément *Justification* aux autres éléments du méta modèle MV-TMM.

La structure de l'élément *Justification* est présentée à la figure 20. Il est composé d'éléments de justification qui sont répartis en deux catégories: informelle et formelle.

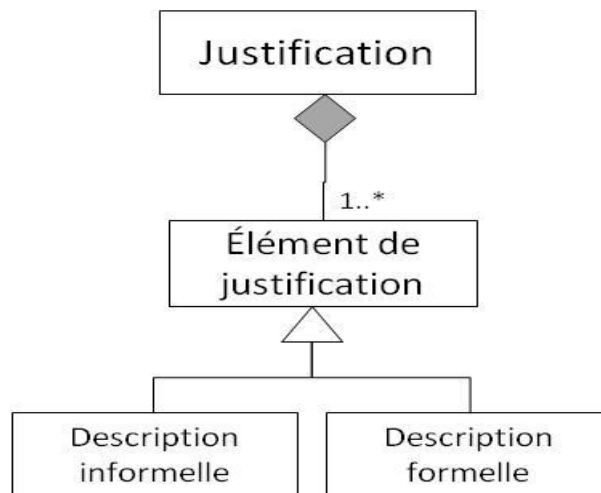


Figure 20: Modèle détaillé décrivant l'élément "Justification"

Notation:

Afin de distinguer l'élément *Justification* par rapport aux autres éléments du méta modèle, nous avons choisi la notation graphique de la figure 21.

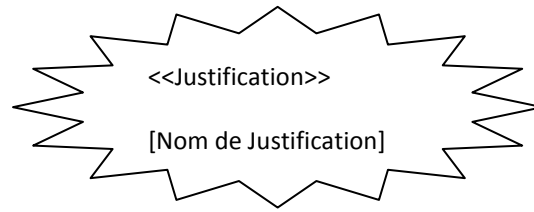


Figure 21: Notation de l'élément "Justification"

Le modèle IBIS [Conklin, 88] est un exemple qui illustre le contenu de l'élément Justification (figure 22).

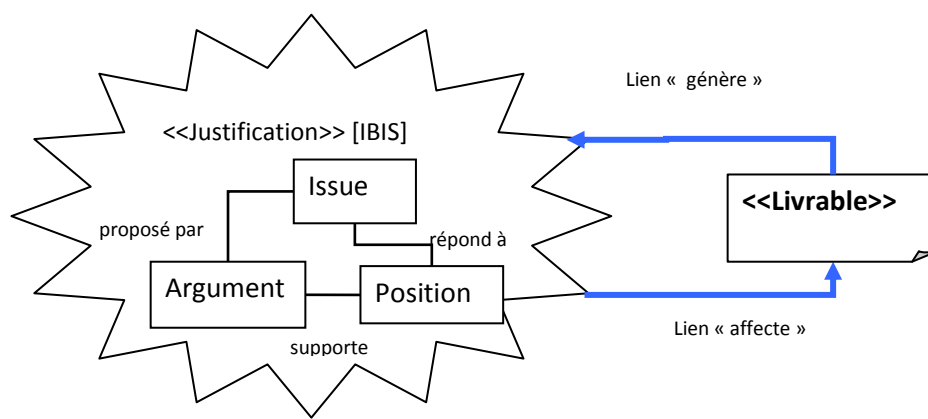


Figure 22: Exemple de l'élément "Justification" (le modèle IBIS)

- Les Issue, Position et Argument décrivent le contenu de l'élément Justification.
- Les liens de traçabilité *génère* et *affecte* sont des relations entre l'élément Justification avec un Livrable.

3.5.5 L'élément Configuration

L'élément *Configuration* représente les aspects de gestion de configuration et de contrôle des changements dans un projet. En particulier, la configuration des liens de traçabilité.

La gestion de configuration est une activité fondamentale dans le processus de suivi de l'évolution des différents éléments de traçabilité dans un projet. Elle fournit à ses utilisateurs des informations sur le statut des données de traçabilité ainsi que sur l'historique des mises à jour effectuées au cours de l'évolution des données [Pressman, 04] [Bersoff, 97]. La gestion de configuration comprend également l'analyse et le contrôle des changements des données de traçabilité [Zimmermann et al., 04].

La figure 23 présente le modèle qui décrit l'élément de configuration. Nous avons ajouté la relation « associée à » qui permet d'associer à chaque élément de traçabilité une ou plusieurs configurations.

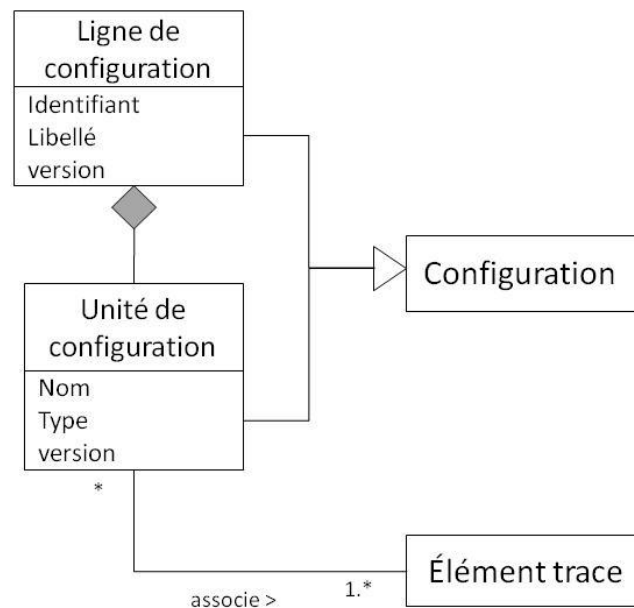


Figure 23: Modèle détaillé décrivant l'élément "Configuration"

Un *Elément de configuration* peut être représenté deux manières: en tant que *unité de configuration* ou une *ligne de configuration*. Une unité de configuration se préoccupe de la configuration d'un élément de trace, tandis qu'une ligne de configuration regroupe plusieurs éléments de trace et en particulier un lien de traçabilité.

Notation :

Pour représenter l'élément *Configuration*, nous avons choisi de garder la même notation de chaque élément de traçabilité mais représentée en double. La figure 24 montre un exemple de cette notation graphique concernant les deux éléments *Processus* et *Livable*.

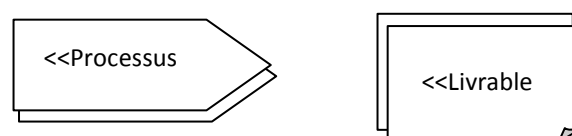


Figure 24: Notation graphique de l'élément "Configuration"

La figure 25 montre un exemple d'élément *Configuration*. Le livrable A est mis en configuration avec lui-même et avec le livrable B. Les liens de trace enregistrent les informations d'évolution par rapport à chaque configuration.

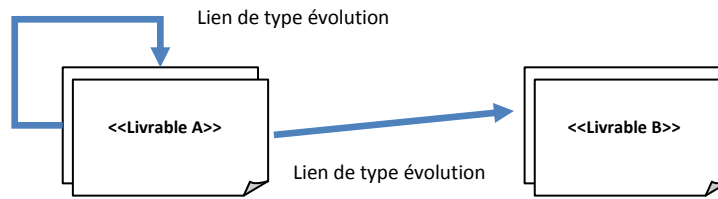


Figure 25: Exemple d'éléments de "Configuration"

3.5.6 L'élément Lien de traçabilité

Dans un projet, les liens entre les éléments de traçabilité peuvent exister sous plusieurs formes:

- Une exigence peut être reliée par une relation de dépendance avec une autre exigence.
- Les composants d'un système peuvent être reliés aux exigences par un lien de satisfaction.
- Les liens de traçabilité décrivent également une relation temporelle dans le cas d'une évolution entre les versions des artefacts.

Ainsi, un modèle de traçabilité peut être vu comme un réseau sémantique dont les nœuds représentent les éléments de traçabilité du méta modèle MV-TMM reliés par des liens de traçabilité.

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à la gestion des liens de traçabilité. Ils proposent des types de liens de traçabilité afin de représenter la relation entre les informations de traçabilité dans des contextes différents. Dans le projet NATURE par exemple, Pohl et al., [Pohl, 1996a], proposent dix huit types de relation de dépendance entre les informations de traçabilité. Ces dépendances sont classées selon cinq catégories appelées: contenu, contrainte, documentation, évolution et abstraction. L'approche de la méthode SysML propose un seul type de lien entre des exigences et les éléments d'un modèle UML [SysML, 07]. D'autres approches proposent des liens adaptés à des cas spécifiques, par exemple elles représentent uniquement la relation entre une exigence et les composants d'un système [Brandenburg et al, 01].

Nous avons réutilisé un certain nombre de ces types de liens dans le cadre de notre méta modèle. En revanche, nous les avons structurés et classés suivant les éléments de méta modèle.

Nous proposons des types de liens d'un niveau d'abstraction élevé adaptés aux éléments de notre méta modèle de traçabilité MV-TMM (Figure 26). Ils représentent les différents types de relations possibles entre les éléments du méta modèle MV-TMM. L'instanciation de ces types de liens permet de générer d'autres catégories de liens qui traduisent la sémantique associée à chaque contexte de leur utilisation. Par conséquent, les instances des liens sont spécifiques au modèle de traçabilité d'un projet.

Des attributs ou des propriétés peuvent être associés aux liens [Kruchten, 00] [Kaindle, 93] afin de les caractériser avec des informations supplémentaires. Les sous-sections suivantes donnent plus de détails sur chaque type de lien du méta modèle MV-TMM.

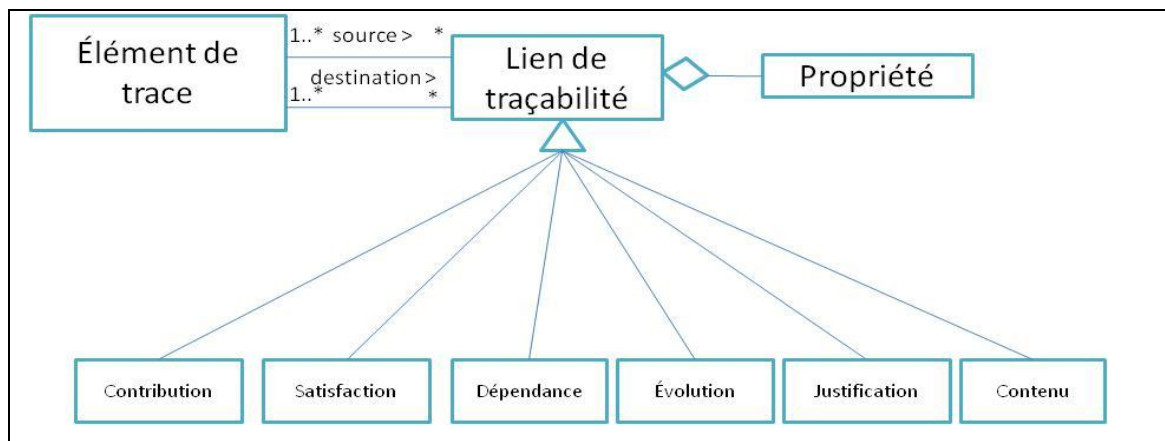


Figure 26: Catégories des liens de traçabilité du méta modèle MV-TMM

Notation:

Nous proposons la notation graphique de la figure 27 pour représenter les liens de traçabilité. La flèche en extrémité représente la destination du lien.

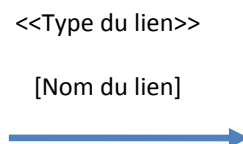


Figure 27: Notation graphique des liens de traçabilité

3.5.6.1 Le lien de type « satisfaction »

Les liens de traçabilité de type *satisfaction* se préoccupent de la représentation des relations qui s'assurent de la consistance entre les différents livrables des phases de développement. Ils sont utilisés par exemple pour:

- Identifier les modèles de conception qui répondent aux exigences correspondantes
- S'assurer que le système satisfait les exigences
- Tracer l'allocation des composants systèmes et sous-systèmes vers les exigences.
- s'assurer que les exigences ont été vérifiées par des plans de test

Les liens de types *satisfaction* sont des relations verticales, c'est-à-dire, utilisés pour tracer les liens entre deux éléments d'un niveau d'abstraction différent.

Le degré de satisfaction est une information associée aux liens de types *satisfaction* et considéré comme une *propriété* de ces liens.

La figure 28 montre un exemple de représentation graphique des liens de type *satisfaction*:

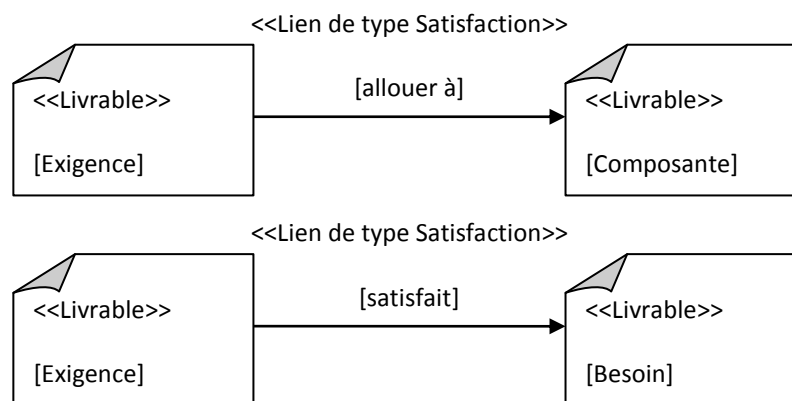


Figure 28: Notation des liens de type satisfaction

3.5.6.2 Le lien de type « dépendance »

Un lien de *dépendance* est une relation entre un élément *Livrable* source qui dépend d'un livrable de destination. Ce type de lien traduit en générale une relation hiérarchique entre livrables.

Les deux livrables reliés par ce genre de relation sont en générale au même niveau d'abstraction, c'est-à-dire, horizontale.

Les liens de dépendances sont utilisés pour plusieurs raisons:

- Gérer les répercussions d'un changement entre artéfacts.
- L'intégration de différents livrables.
- La gestion des interfaces entre les composantes sous système

Plusieurs travaux de recherches se sont intéressés à l'étude et la caractérisation de la relation de dépendance. Nous citons comme exemple le travail de Hauser et Clausing [Hauser et al., 1988] qui proposent un schéma pour assigner des poids quantitatifs et qualitatifs à une relation de dépendance. Dans leur approche, le degré d'une dépendance est appelé *force de dépendance* (c'est la mesure de combien un objet affecte un autre). Ce degré peut être mesuré qualitativement (par exemple, élevée, moyenne, léger, etc.) ou quantitativement (par exemple, entre 1-10 dans une échelle de notation sur 10).

Yu et Mylopolous [Yu et al, 1994] ont adaptés un autre schéma dans leur cadre de référence i* pour caractériser une dépendance entre les éléments de leurs modèles.

L'élément *Propriété* de notre méta modèle assigne des valeurs flexibles pour caractériser un lien.

La figure 29 montre des instances du type de lien de *dépendance* du méta modèle MV-TMM.

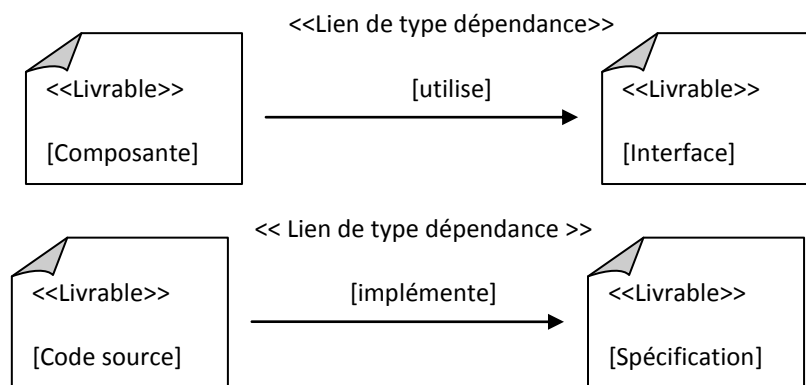


Figure 29: Notation du lien de type dépendance

3.5.6.3 Le lien de type « évolution »

Le lien de type *évolution* représente les relations chronologiques entre les artéfacts, c'est-à-dire, dans l'ordre de leurs créations. Les données sur les versions, l'historique et les responsabilités

vis-à-vis des artefacts, sont des exemples d'informations de traçabilité associées à ce genre de lien.

Les travaux de recherche du domaine d'ingénierie logicielle sur la gestion des évolutions (ou configuration) se sont focalisés sur des informations de type livrable [IEEE, 828-98] [Conradi, 98] [Buckley, 96]. Le domaine de la traçabilité des exigences a introduit en plus des artefacts les liens de traçabilité entre ceux-ci. La gestion de l'évolution devient alors plus complexe car il doit maintenir la configuration des liens.

La figure 30 montre un exemple de lien de type évolution:

- Génère (un but <<génère>> une exigence)
- Élabore (une exigence <<évolue vers>> une autre exigence)

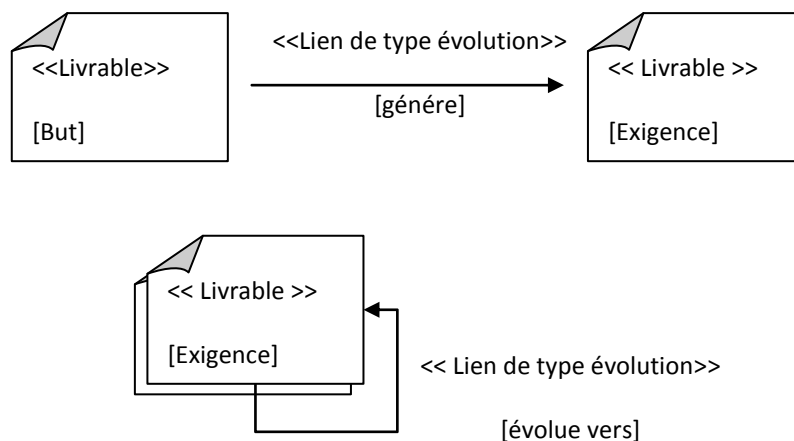


Figure 30: Notation du lien de type évolution

3.5.6.4 Le lien de type « Justification » (ou <<Raisonnement>>)

Le lien de *justification* (ou raisonnement) aide à représenter le contexte dans lequel les livrables sont produits. Le contexte regroupe l'ensemble des outils ou processus utilisés pour la justification d'un livrable. Les mails, les comptes rendu de réunion sont des exemples de moyen de justification d'un livrable.

Le lien de *justification* est utilisé par exemple pour:

- La justification de la création ou la modification d'un livrable
- L'identification du contexte de création d'un livrable
- Gérer la transparence des décisions

- La sélection et le choix entre plusieurs alternatives

Ce type de lien relie une information source de type Justification à toute autre élément de traçabilité du méta modèle.

La figure 31 montre un exemple de représentation des liens de *justification*:

- Supporte (un argument <<supporte>> une alternative)
- Evalue (une décision <<évalue>> un choix)
- Résout (une décision <<résout>> un conflit)

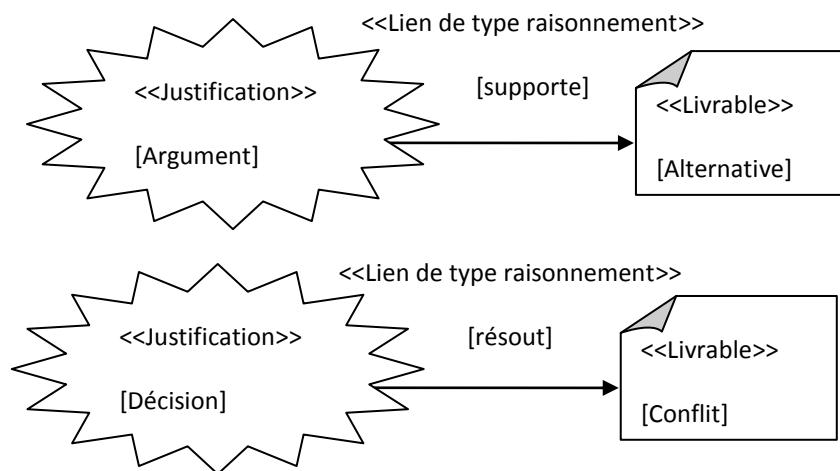


Figure 31: Notation du lien de type justification

3.5.6.5 Le lien de type « contenu »

Les liens de type *contenu* représentent les relations de type référencement entre artefacts. Ce genre de relation est considéré comme forme classique de traçabilité. Elles traitent par exemple les renvois vers un autre livrable ou bien vers une référence qui contient des mots clés ou des définitions.

La figure 32 montre un exemple de liens de type "contenu":

- une conception <<référence>> une norme
- un livrable <<inclut>> un autre)
- une spécification <<adopte>> une définition

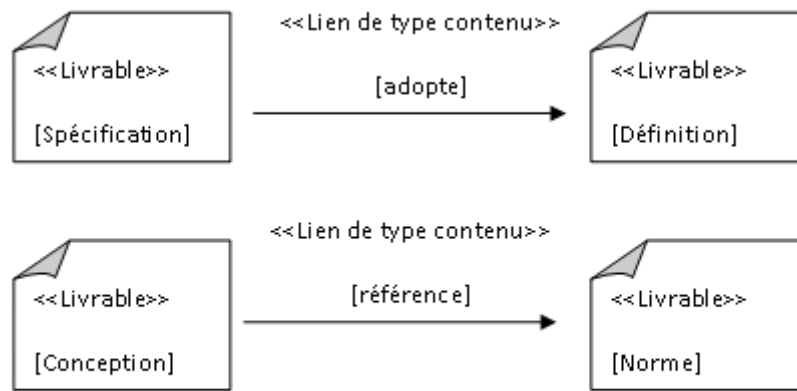


Figure 32: Notation du lien de type contenu

3.5.6.6 Le lien de type « contribution »

Le terme lien de *contribution* est utilisé pour désigner n'importe quelle relation entre un agent (ou acteur) et un livrable. C'est une relation bidirectionnelle dans le sens où un agent contribue à un ou plusieurs livrables et un livrable est produits par un ou plusieurs agents.

Le lien de *contribution* peut avoir plusieurs niveaux de granularité selon le format et la nature de la contribution d'un agent vis-à-vis d'un livrable. Nous pouvons le décrire par exemple avec des termes simples comme "contribue à". Cependant, ce dernier terme ne décrit pas la nature de cette contribution. Celle-ci permet de différencier les responsabilités des agents envers les livrables. Le travail de Gotel [Gotel, 95] constitue une référence réutilisable dans ce genre de relation.

L'élément *Propriété* du méta modèle permet de qualifier chaque relation de contribution par des informations supplémentaires. Il représente par exemple le fait qu'un agent peut être auteur (type d'engagement) "principale" (degré d'engagement) d'un document, mais secondaire par rapport à un autre document.

Exemple de lien de contribution (figure 33):

- Un agent A << auteur>> {principale} du document D
- Un agent B << auteur>> {secondaire} du document D
- Un agent B << approbateur>> du document D
- Un agent C << exécute>> le Processus P

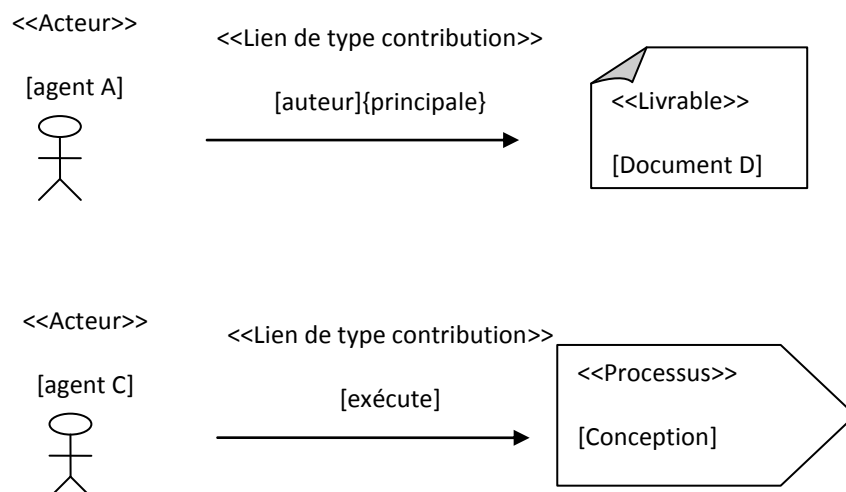


Figure 33: Notation du lien de type contribution

3.5.7 Contraintes liées à l'utilisation des liens de traçabilité

Les liens proposés dans le méta modèle MV-TMM ne peuvent relier qu'un ensemble prédéfini d'élément de trace du méta modèle. En effet, un type lien de traçabilité peut être établi entre un ensemble limité d'éléments sources et d'éléments cibles selon la définition et la sémantique particulière de chaque lien de traçabilité.

Le tableau 1 présente un résumé de différentes configurations possibles entre les liens de traçabilité et les éléments de trace du méta modèle MV-TMM. Le lien de type *satisfaction* par exemple relie uniquement un élément de type *Livrable* et *Justification*. Le tableau montre également l'élément source et cible de chaque lien de traçabilité. En procédant de la même manière nous pouvons déterminer les contraintes liées à chaque lien de traçabilité. Certaines combinaisons source-cible sont vides car aucun lien ne peut être établi entre cette source et cette cible, tel que par exemple livrable-configuration ou acteur-acteur.

<i>Source \ Cible</i>	Livrable	Processus	Configuration	Justification	Acteur
Livrable	-Satisfaction -Dépendance -Évolution -Contenue	—	—	-Dépendance -Satisfaction	—
Processus	Justification	-Évolution -Dépendance	—	-Justification -Évolution	—
Configuration	Évolution	Évolution	Évolution	Évolution	—
Justification	Justification	—	—	Évolution	—
Acteur	Contribution	Contribution	—	Contribution	—

Tableau 1: Contraintes liées à l'utilisation des liens de traçabilité

4 Conclusion

Le méta modèle MV-TMM présenté dans ce chapitre fournit les éléments nécessaires pour la création des modèles de traçabilité. Il permet la représentation des différentes situations d'usage de la traçabilité dans un projet.

L'application des quatre principes que nous avons introduits au début de ce chapitre nous a permis de maîtriser les différentes difficultés rencontrées dans la représentation des informations de traçabilité. L'instanciation du méta modèle MV-TMM est dirigée par les informations obtenues dans le modèle de contexte en particulier le choix des points de vue.

Les éléments du méta modèle ont été obtenus par application du principe de multi perspectives et par abstraction des autres concepts appliqués dans les approches existantes dans le domaine de la traçabilité.

Le problème de la représentation des besoins a été peu traité par les approches existantes. La description du besoin projet facilite sa compréhension et la conception d'un modèle de traçabilité adapté à la situation des projets.

En plus de la description du besoin, le méta modèle MV-TMM facilite la création d'un modèle complexe de traçabilité par assemblage de sous-fragments. Chaque fragment se préoccupe de la représentation d'une catégorie d'informations de traçabilité du projet. L'ensemble des fragments

ainsi que les éléments de traçabilité sont reliés par des liens de traçabilité. Ces derniers sont classés en six catégories et sont adaptés à chaque type d'élément de traçabilité.

Nous avons également introduit une notation graphique simple et intuitive qui aide les concepteurs à créer les modèles de traçabilité.

Le méta modèle MV-TMM est la première composante de la démarche MV-TMM que nous présentons dans cette thèse. La deuxième composante de cette démarche propose un processus qui se préoccupe du guidage de la capture et l'usage des éléments du méta modèle. Ce processus sera présenté dans le chapitre suivant en se basant sur la carte MAP comme modèle de processus.

CHAPITRE 4

LA DEMARCHE MV-TMM

1 Introduction

Ce chapitre présente la deuxième composante de notre démarche MV-TMM, à savoir le modèle de processus. Ce dernier a pour objet le guidage de la gestion de la traçabilité des exigences tout au long du cycle de vie d'un projet. Le processus repose sur l'utilisation du méta modèle MV-TMM, que nous avons présenté au chapitre précédent, pour la représentation des informations de traçabilité et sur le méta modèle des cartes MAP pour la modélisation des processus [Rolland, 99].

La figure 1 décrit une vue générale de la démarche MV-TMM. La partie gauche montre le processus de construction des modèles de traçabilité qui est basé sur le méta modèle MV-TMM. Après la construction du modèle de traçabilité d'un projet, la partie à droite montre le modèle de processus de capture et d'usage des informations de traçabilité.

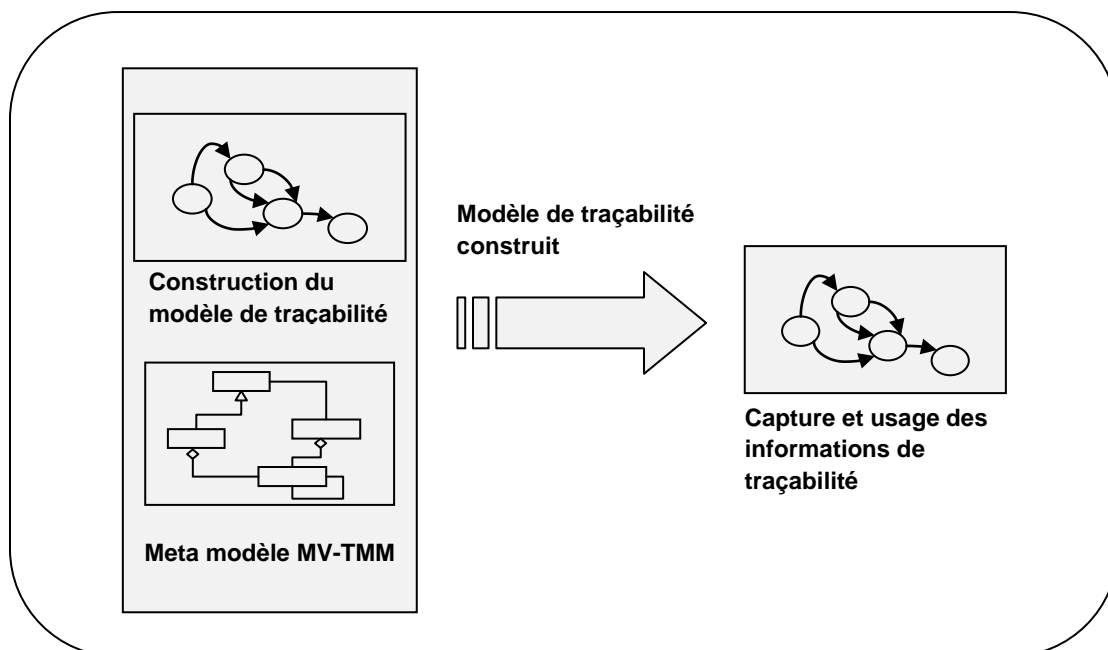


Figure 1: Vue générale de l'approche

La construction du modèle de traçabilité via l'approche MV-TMM se fait en deux étapes :

- a. la capture du besoin du projet;
- b. la construction d'un modèle qui répond aux besoins spécifiés ;

La capture des informations de traçabilité se fait elle aussi en deux étapes:

- a. le guidage de la capture des informations de traçabilité;
- b. le guidage de l'utilisation et de la maintenance des informations capturées.

Le processus de carte MAP de la démarche MV-TMM est vu comme une succession de décisions qui conduisent à la gestion de la traçabilité des exigences dans un projet. La prise de décision est guidée par ces cartes.

Une carte est considérée comme une structure de navigation contenant un nombre fini de chemins où aucun n'est recommandé « a priori », mais où chacun est choisi de manière dynamique. La sélection d'une stratégie se fait au fur et à mesure de la réalisation des intentions, en fonction de l'état du produit. L'ingénieur de traçabilité sélectionne une intention pour progresser dans le processus et réalise l'intention sélectionnée à l'aide des directives associées à la carte. Ce chapitre présente l'ensemble des directives qui guident le processus MV-TMM.

Le reste du chapitre est organisé de la façon suivante : la section 2 présente le méta modèle de Carte comme méta modèle de processus de la démarche MV-TMM. La section 3 décrit le modèle de processus de la carte MV-TMM de haut niveau. Ensuite, la section 4 présente la directive de progression au début du processus. La section 5 présente les différentes directives qui correspondent à la construction d'un modèle de traçabilité. La section 6 présente les directives correspondantes à l'utilisation du modèle. Enfin, la section 7 correspond à la conclusion du chapitre.

2 La carte MAP comme méta modèle de Processus

Le méta modèle de carte MAP (Figure 2) permet de représenter le processus de la méthode MV-TMM. Une telle utilisation du méta modèle de Carte a été décrite dans [Ralyte, 01]. Nous faisons ici un rappel.

Le méta modèle de Carte est composé de deux parties, une *partie intentionnelle* (représentée en gris à la Figure 2) et une *partie directive*. Grâce aux concepts d'intention et de stratégie, la partie intentionnelle permet de différencier le but à atteindre de la façon de l'atteindre. Une

section correspond alors au triplet constitué d'une intention source, d'une intention cible et d'une stratégie exprimant la façon d'atteindre un but précis à partir d'une situation donnée.

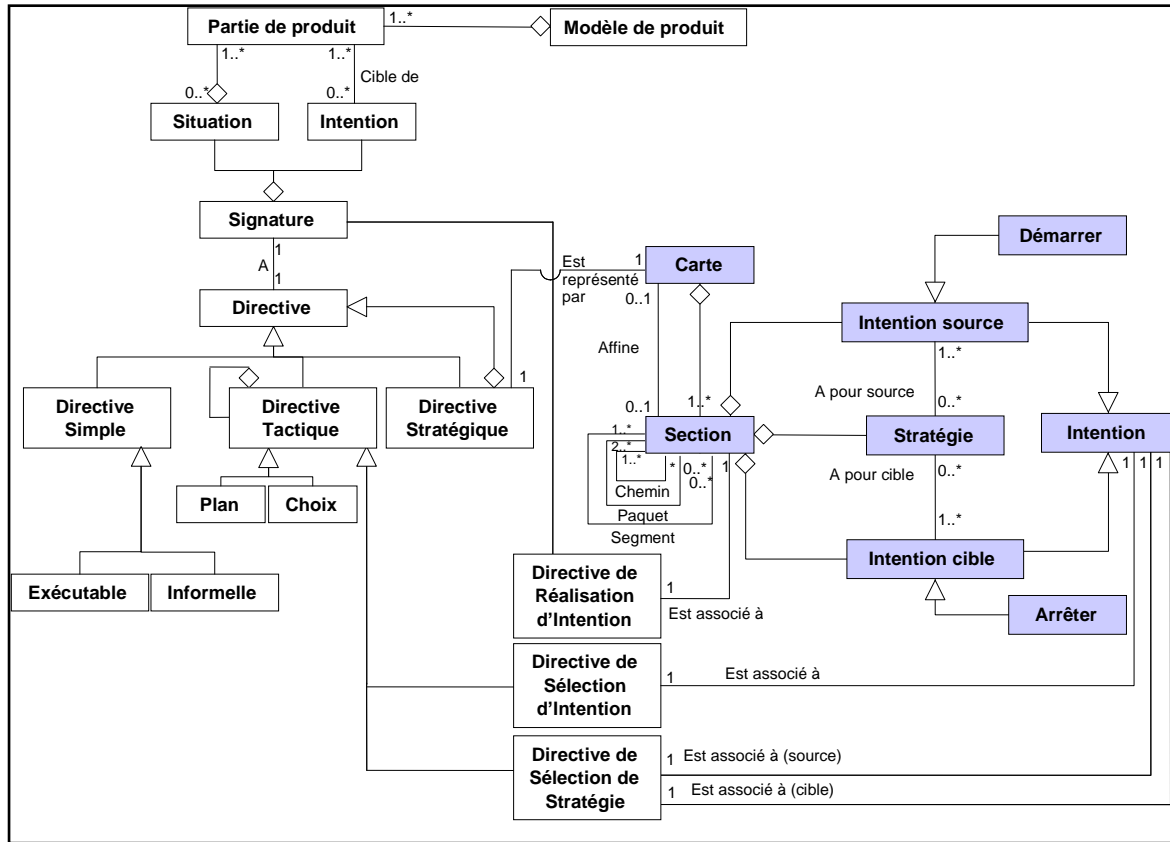


Figure 2: Méta modèle de Carte vu comme méta modèle de processus

Le méta modèle de Carte permet de représenter des processus d'ingénierie sous forme de cartes composées de sections. Ces processus d'ingénierie que l'ingénieur d'alignement exécute pour réaliser ses objectifs sont vus comme une succession de décisions qui conduisent à la transformation du produit. Le rôle de la carte comme modèle de processus est de guider cette prise de décision grâce à des directives.

Dans la suite de cette section, nous présentons les différentes directives et leurs rôles respectifs.

2.1 Notion de directive

Une directive est définie comme « un ensemble d'indications sur la façon de procéder pour atteindre un objectif ou exécuter une activité » [Robert, 00].

Plus précisément, selon [Ralyté, 01] une directive (i) définit la connaissance du domaine pour aider l'ingénieur d'alignement à réaliser une intention dans une situation donnée et (ii) préconise un processus à suivre.

Toute directive possède une *signature* et un *corps*. La *signature* caractérise les conditions dans lesquelles la directive peut être appliquée et le résultat qu'elle permet d'obtenir. Le *corps* définit la démarche à suivre pour satisfaire ce résultat.

La *signature* de la directive est définie par un couple <situation, intention>. Les conditions d'application de la directive sont précisées dans sa *situation*. Le résultat auquel elle permet d'aboutir est indiqué dans son *intention*. Par conséquent, chaque directive s'applique dans une situation particulière pour satisfaire une intention particulière.

La situation dans la signature d'une directive identifie une partie de produit en cours de développement nécessaire à la satisfaction de l'intention de la directive. Chaque partie de produit référencée dans la situation est un élément du modèle de produit (Figure 2). Il peut s'agir d'un élément de produit atomique, d'une association de plusieurs éléments de produit ou même du modèle de produit de la méthode en entier.

Une intention exprime un but que l'ingénieur des besoins souhaite atteindre en appliquant la directive. La cible de ce but est composée d'une ou plusieurs parties de produit. Par exemple, « Construire un modèle de traçabilité » est une des intentions que l'on peut exprimer dans le processus MV-TMM.

Le *corps* d'une directive explicite le guidage fourni par celle-ci. Il contient un ensemble de recommandations définissant comment procéder afin de satisfaire l'intention définie dans la signature de la directive. Il propose une ou plusieurs démarches à suivre pour aboutir au résultat attendu.

2.2 Types de directives

Il existe différents types de directives. D'un côté la taille des directives peut varier de la description d'une action atomique jusqu'à celle d'une démarche complète. D'un autre côté, le but d'une directive peut être d'aider à naviguer dans la carte ou d'exécuter une section.

La première caractérisation conduit à distinguer *directive simple*, *directive tactique*, et *directive stratégique*. La deuxième permet de différencier *directive de réalisation d'intention*, *directive de sélection d'intention* et *directive de sélection de stratégie*.

2.2.1 Typologie des directives selon la taille

On distingue, selon la taille, trois types de directives : *directive simple*, *directive tactique*, et *directive stratégique* [Ralyté, 01]. Dans chacun de ces cas, la complexité et la manière dont les directives sont exprimées varient.

2.2.1.1 Directive simple

Une directive simple est une directive qui ne se décompose pas en sous-directives. Elle constitue donc un élément atomique dans la démarche d'une méthode et est soit informelle soit exécutable. Une directive informelle explique de manière narrative comment procéder pour obtenir le produit cible tandis qu'une directive exécutable propose une action à exécuter, soit avec un outil soit de manière manuelle. La figure 3 présente un exemple de directive simple à partir de la carte MAP de gestion des réservations de la figure 6.

$DRI_{cd1} < produit = 'réservé', Arrêter Par annulation >$
Cette directive annule une réservation lorsqu'une demande ne peut être satisfaite et que le client refuse de la mettre en attente, elle est considérée comme 'sans suite' ce qui met fin au processus. La directive doit vérifier si le délai d'annulation a été respecté pour éviter les frais de pénalité.

Figure 3: Exemple de directive simple

2.2.1.2 Directive tactique

Une directive tactique est une directive complexe utilisant une structure d'arbre pour relier ses sous-directives. Il existe deux types de directives tactiques : les *directives choix* et les *directives plan*.

- Une directive choix est un ensemble de sous-directives tactiques ou simples liées par un lien OU. Chaque sous-directive représente une manière différente de satisfaire l'objectif de la directive tactique. L'exécution d'une directive tactique de ce type consiste à choisir l'une de ses sous-directives, la plus adaptée à la situation donnée, et à l'exécuter. Ces sous-directives alternatives peuvent être tactiques ou simples. Des *critères de choix* aident l'ingénieur d'alignement à choisir l'alternative la plus appropriée aux caractéristiques de la situation courante.

La figure 4 présente un exemple de directive choix. Dans cet exemple, la directive $< produit = 'existe', Gérer réservation En offrant des facilités de réservation >$ est affinée par quatre alternatives :

$DRI_{ab1.1} < produit = 'existe', réserver par téléphone >$

$DRI_{ab1.2} < produit = 'existe', réserver sur place >$

$DRI_{ab1.3} < produit = 'existe', réserver par Internet >$

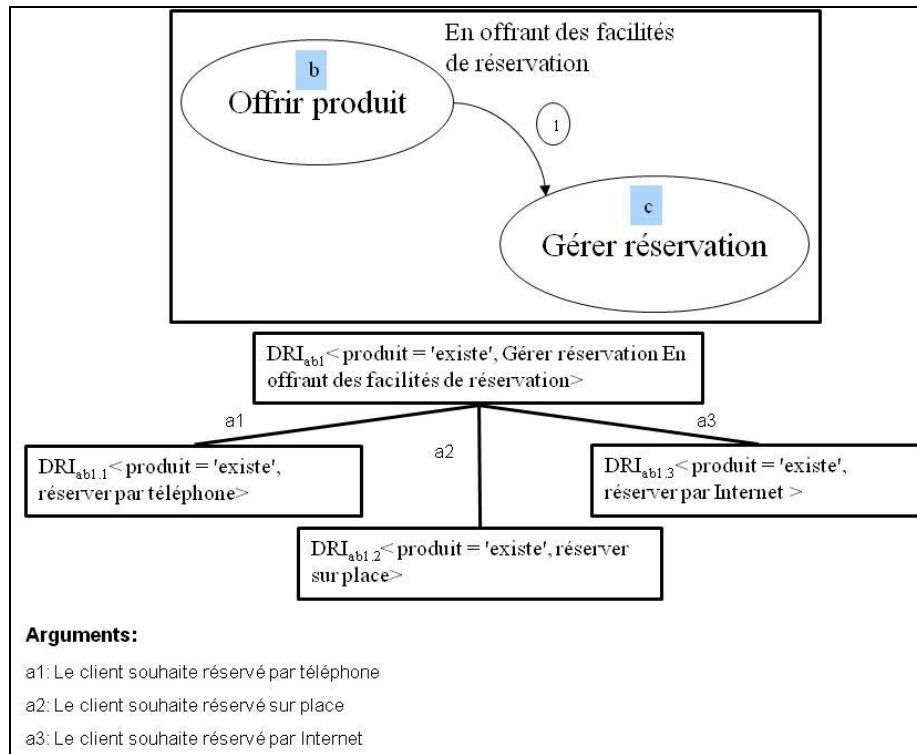


Figure 4: Exemple de directive choix

- Une directive plan est un ensemble de sous-directives reliées par un lien ET. L'ordre d'exécution des sous-directives est défini dans un *graphe de précedence*. Les nœuds du graphe sont des sous-directives (les composantes du plan), alors que les arcs, appelés liens de précedence, représentent des transitions ordonnées ou parallèles entre directives. Les critères de choix attachés aux liens permettent d'aider l'ingénieur à choisir le chemin à suivre pour l'exécution du plan. Lorsque le graphe est trivial ou séquentiel, il n'est pas représenté.

La figure 5 présente un exemple de directive plan. La directive DRI_{ab1} < produit = 'réservé', Arrêter Par annulation > se décompose en trois directives. L'ordre de précedence n'est pas précisé dans cet exemple.

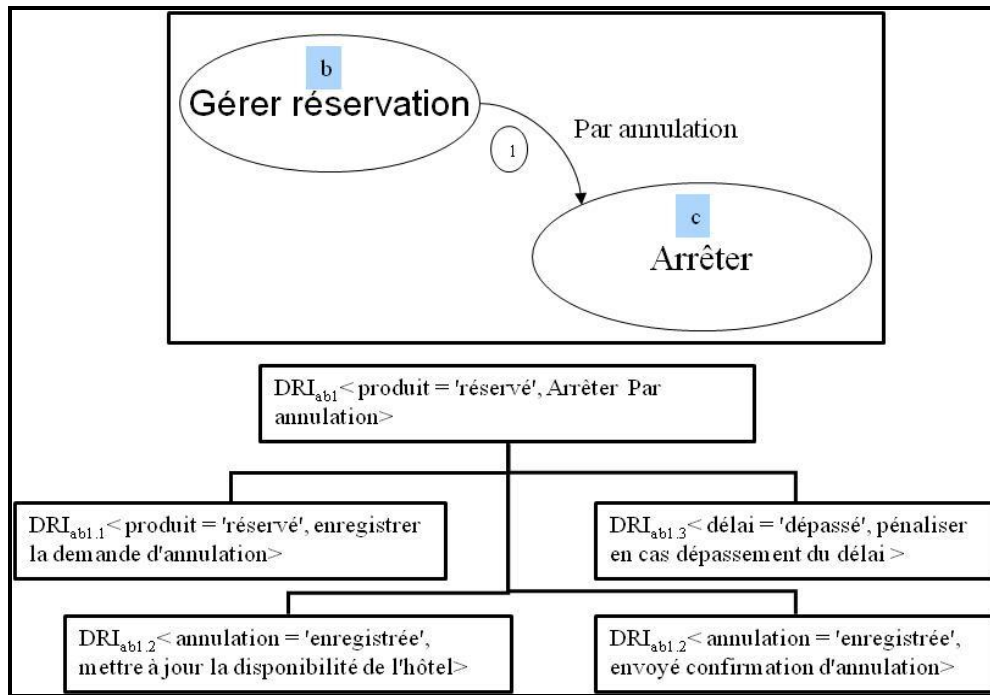


Figure 5: Exemple de directive plan

2.2.1.3 Directive stratégique

Une directive stratégique est une directive complexe utilisant une structure de graphe pour relier ses sous-directives. Une directive stratégique permet de représenter un processus de développement multi démarches en utilisant une carte. Les directives composant ce processus sont reliées par des liens ET/OU (topologie segment) et par des liens de précédence (topologie chemin). La carte représente alors une vue stratégique en précisant ce qui peut être réalisé (quelle intention) suivant quelle stratégie. La figure 6 présente un exemple de directive stratégique permettant de construire un ensemble de cartes modélisant les processus d'entreprise ou le système. La directive est issue du domaine de l'ingénierie des méthodes et appliquée dans notre processus.

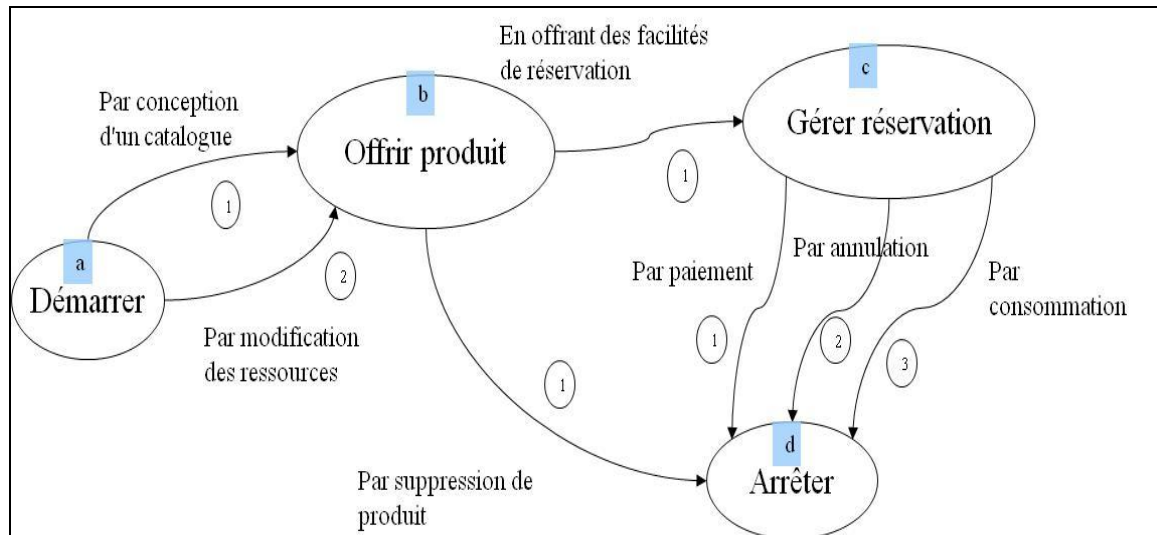


Figure 6: Exemple de directive stratégique

2.2.2 Typologie des directives suivant le but

On distingue, suivant le but, deux types de directives :

- celles qui aident à la réalisation des intentions. On parle alors de Directive de Réalisation d'Intention (DRI).
- celles qui permettent de progresser dans la carte. Il peut s'agir de Directive de Sélection de Stratégie (DSS) ou de Directive de Sélection d'Intention (DSI).

Les Directives de Réalisation d'Intention (DRI) permettent d'expliquer comment réaliser l'intention sélectionnée. Elles précisent le mécanisme d'exécution de la tâche opérationnalisant cette intention. Les Directives de Sélection de Stratégie (DSS) aident à choisir une stratégie parmi un ensemble de stratégies données. Les Directives de Sélection d'Intention (DSI) permettent de découvrir toutes les intentions succédant une intention donnée.

Les sous-sections suivantes présentent successivement les DRI, les DSS et les DSI.

2.2.2.1 Directive de réalisation d'intention

Une Directive de Réalisation d'Intention (DRI) peut être simple, tactique ou stratégique. Elle aide à la réalisation d'une intention selon une stratégie donnée. Cette réalisation d'intention aboutit à la transformation du produit en cours de développement. Dans la carte, il existe une DRI pour chaque section $\langle I_i, I_j, S_{ij} \rangle$. Elle aide l'ingénieur d'alignement à atteindre l'intention cible I_j en suivant la stratégie S_{ij} .

La signature d'une DRI associée à une section $\langle I_i, I_j, S_{ij} \rangle$ est un couple $\langle (\text{situation}), \text{intention} \rangle$ construit comme suit :

- La situation comporte la partie de produit obtenue en réalisant l'intention I_i et dont l'état peut être précisé par une condition d'occurrence ;
- L'intention est exprimée sous la forme I_j avec (ou par) S_{ij} .

Prenons comme exemple la DRI associée à la section $\langle \text{Construire le modèle de traçabilité}, \text{Construire le modèle de traçabilité}, \text{Par réutilisation} \rangle$. La signature de cette DRI est la suivante : $\langle \text{fragment} = \text{'identifié'}, \text{Construire le modèle de traçabilité Par réutilisation} \rangle$.

La figure 7 présente cette DRI. Elle se décompose en trois parties :

- En haut, dans l'encadré, est représentée la partie de la carte ou la partie de la hiérarchie de directives que la directive de réalisation d'intention permet de décrire. Cette partie permet de situer la directive dans son contexte.
- La deuxième partie présente le corps de la directive. Ici il s'agit d'une hiérarchie de directives (c'est-à-dire une directive tactique composée de directives plan).

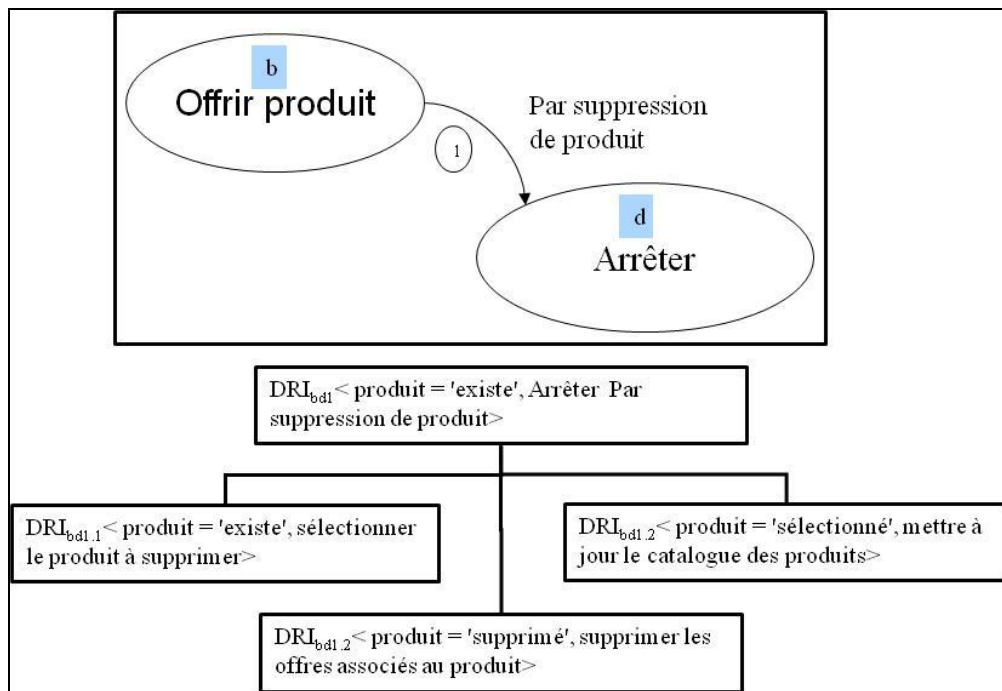


Figure 7: Exemple de DRI

2.2.2.2 Directive de sélection de stratégie

Une Directive de Sélection de Stratégie (DSS) détermine quelles sont les stratégies connectant deux intentions et aide à choisir l'une d'elles. Elle est appliquée lorsque l'intention source et

l'intention cible sont déterminées et qu'il existe plusieurs stratégies possibles pour satisfaire l'intention cible à partir de l'intention source. Le rôle de la DSS est de guider la sélection de la stratégie la plus appropriée à la situation donnée.

Pour un couple d'intentions connectées par plusieurs stratégies de même direction, il existe une DSS. Comme toute directive, la DSS est définie par un couple $\langle \text{situation}, \text{intention} \rangle$

La signature d'une DSS associée à un couple d'intentions $\langle I_i, I_j \rangle$ est exprimée de la façon suivante :

- La situation comporte la partie de produit obtenue en réalisant l'intention I_i ; une condition d'occurrence peut préciser l'état de cette partie de produit ;
- L'intention est exprimée sous la forme : **Progresser vers I_j** .

Le verbe *Progresser* est toujours utilisé pour exprimer les intentions des DSS. Le mot *vers* précise l'intention cible de la progression.

Une DSS est une directive tactique. Elle est composée de directives exécutables, une par stratégie à sélectionner. Chacune de ces directives contient une action de sélection de la DRI associée à la section. Dans notre exemple, la directive de sélection de stratégie illustrée à la Figure est une directive de type choix. Elle aide l'ingénieur de besoin à choisir parmi les trois stratégies proposées pour progresser dans la carte.

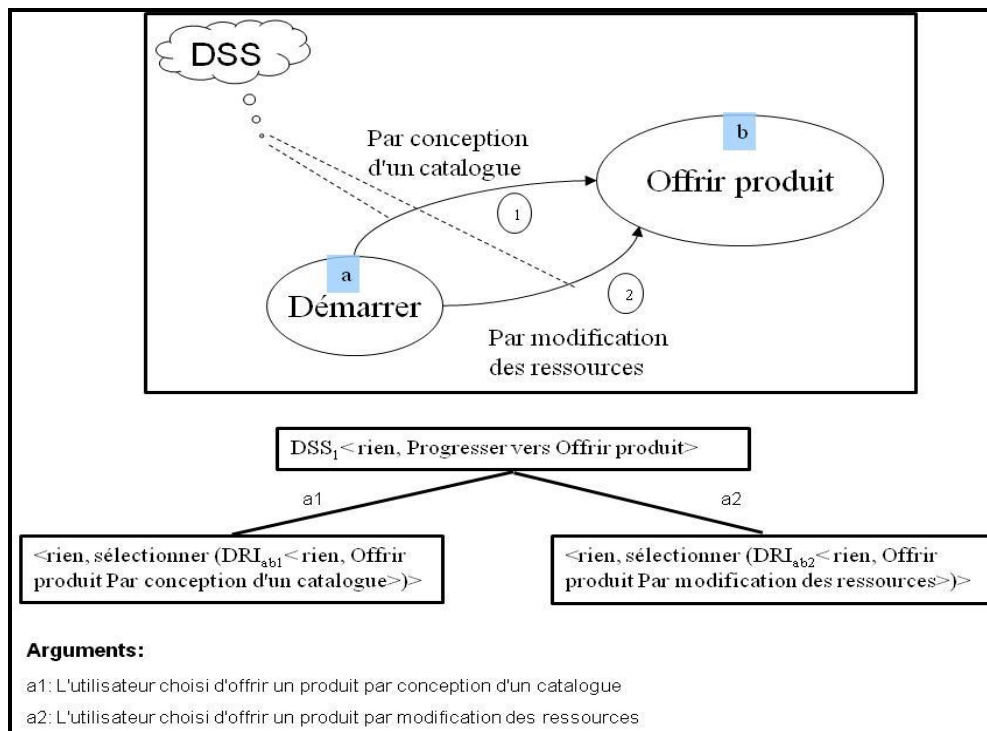


Figure 8: Exemple de DSS

De la même façon que pour les DRI, la description des DSS se décompose en plusieurs parties (figure 8):

- L'encadré en haut correspond à la partie de carte à laquelle nous nous intéressons,
- la partie intermédiaire décrit la directive elle-même,
- la partie inférieure permet de spécifier les arguments aidant l'ingénieur d'alignement à faire son choix parmi les différentes stratégies proposées.

La structure des directives de sélection de stratégie est toujours la même. Elles se présentent sous la forme de directives tactiques, plus précisément de directives choix proposant différentes alternatives, ici trois. Chacune des ces alternatives est une directive exécutable sous la forme d'action de délégation permettant de sélectionner la directive de réalisation d'intention associée.

Les deux sections *<Démarrer, Offrir produit, Par conception d'un catalogue>* et *< Démarrer, Offrir produit, Par modification des ressources>* possèdent la même intention source *Démarrer* et la même intention cible *Offrir produit*. Afin d'aider l'ingénieur de besoin à progresser vers *Offrir produit*, une DSS est associée à ce couple d'intentions. La signature de cette DSS est la suivante : $DSS_1 < rien, Progresser vers Offrir produit >$.

2.2.3 Directive de sélection d'intention

Une Directive de Sélection d'Intention (DSI) détermine quelles sont les intentions qui peuvent succéder à une intention donnée et aide à choisir l'une d'elles. Une DSI est appliquée lorsqu'une intention vient d'être réalisée et que l'utilisateur doit déterminer quelle sera la prochaine intention à réaliser. Le rôle de la DSI est de guider la sélection de l'intention suivante et de fournir l'ensemble des DRI et DSS correspondantes.

La signature d'une DSI associée à une intention I_i de la carte est exprimée de la façon suivante :

- La situation comporte la partie de produit obtenue en réalisant l'intention I_i ; elle peut éventuellement être précisée par une condition d'occurrence ;
- L'intention est exprimée sous la forme : ***Progresser de (ou depuis) I_i***

L'utilisation du verbe Progresser dans l'intention de la signature de la DSI exprime le fait que la directive aide l'ingénieur d'alignement à progresser dans la carte. Le paramètre accompagné de la préposition *de* précise l'intention qui est la source de progression.

Le corps d'une DSI définit quelles sont les intentions cibles de la progression et aide à choisir l'une d'entre elles. Une DSI est une directive tactique. Comme dans le cas des DSS, une DSI

est composée d'un ensemble de directives exécutables comportant des actions de sélection de directives de type DSS ou DRI. Si la progression vers une intention cible est possible par plusieurs chemins, c'est-à-dire s'il y a plusieurs stratégies entre l'intention source et l'intention cible, l'action sélectionne la DSS qui correspond à cette situation. S'il n'existe qu'une seule section entre ces deux intentions, l'action sélectionne directement la DRI correspondante.

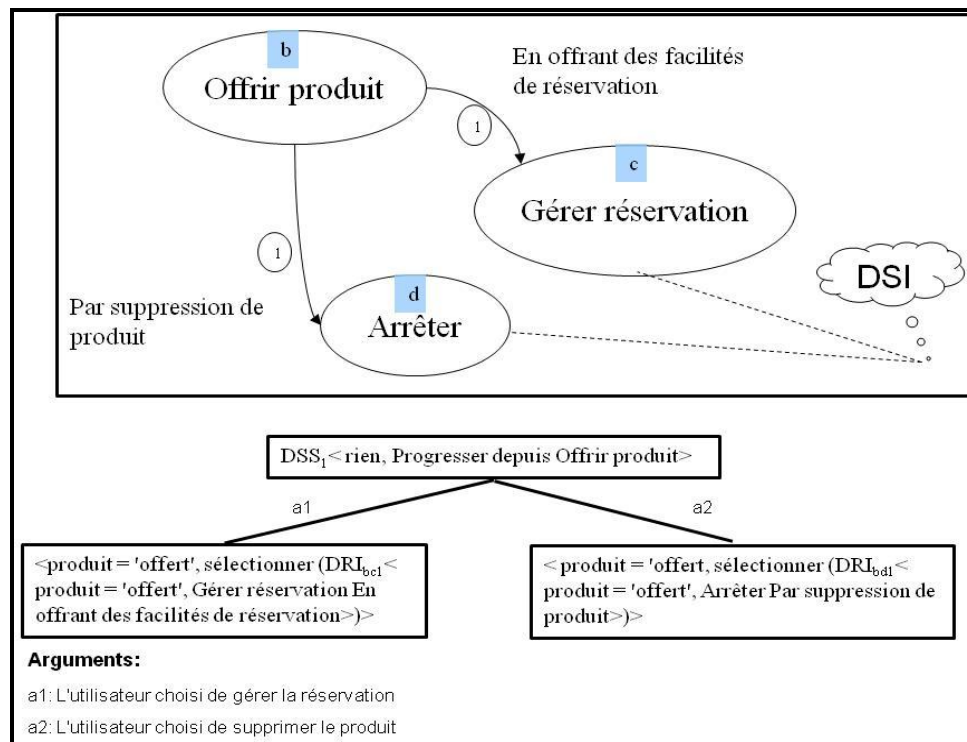


Figure 9: Exemple de DSI

De façon analogue aux DRI et aux DSS, la description d'une DSI se décompose en trois parties. La figure 9 montre qu'à partir de l'intention *Offrir produit*, l'ingénieur de besoin peut choisir de (i) Gérer réservation ou (ii) Arrêter. Afin d'aider l'ingénieur dans son choix, un argument en faveur de chacune des deux alternatives est proposé. Si l'ingénieur choisit de gérer la réservation, la directive exécutable associée permet de sélectionner la DRI_{bcl} . Si l'ingénieur choisit d'arrêter, il devra exécuter la directive DRI_{bd1} .

3 Carte MAP de la démarche « MV-TMM »

3.1 Conventions de codification d'une hiérarchie de cartes

Manipuler un grand nombre de cartes sur plusieurs niveaux de détail est très difficile si l'on ne suit pas une codification précise de ces cartes. Nous adoptons l'une des conventions suivantes pour codifier les cartes : la codification locale ou la codification absolue.

Codification locale

Les conventions de codification que nous utilisons sont les suivantes :

- chaque intention est codée par une lettre de l'alphabet. Cela permet de manipuler 26 intentions dans une même carte pivot, ce qui est très largement suffisant : notre expérience de projets industriels montre qu'une carte compte rarement plus de dix intentions.
- les stratégies sont numérotées relativement à leurs intentions cible et source. Ainsi, deux stratégies ayant les mêmes intentions source et cible seront respectivement numérotées 1 et 2. Une carte peut donc avoir plusieurs stratégies numérotées de la même façon.
- les sections sont codées par la juxtaposition de trois éléments (i) la lettre de l'intention source, (ii) la lettre de l'intention cible et (iii) le numéro de la stratégie. La section *ab1* permet, en partant de l'intention *a*, d'atteindre l'intention *b* en suivant la stratégie *1*.

La figure 6 représente un exemple de codification d'une carte, où l'on a les sections suivantes : *ab1*, *bc1*, *bc2*, *bd1*, *cb1*, *cc1*, *cc2*, *cc3*, *cc4*, *cd1* et *cd2*.

Codification absolue

Avec la codification absolue, la carte racine du modèle pivot est appelée C. Ses intentions sont nommées C.a, C.b... et ses sections C.ab1, C.ab2, C.bc1... Si l'une de ces sections (par exemple C.ab1) est affinée par une carte, celle-ci a pour code C.C_{ab1}. Ses 3 intentions (a, b et c) et 4 sections (ab1, ab2, bc1 et bc2) sont alors codées de façon absolue comme suit :

- Les intentions : C.C_{ab1}.a, C.C_{ab1}.b et C.C_{ab1}.c
- Les sections : C.C_{ab1}.ab1, C.C_{ab1}.ab2, C.C_{ab1}.bc1 et C.C_{ab1}.bc2

Ainsi, le code C.C_{ab1}.ab2 correspond à la section 2 entre l'intention a et l'intention b de la carte C_{ab1}.

Certaines des sections de cette carte peuvent être affinées. On aura par exemple la carte C.C_{ab1}.C_{.ab2} et ainsi de suite.

La figure 10 présente un exemple de liens entre les différentes cartes constituant le modèle de processus de niveau 1.

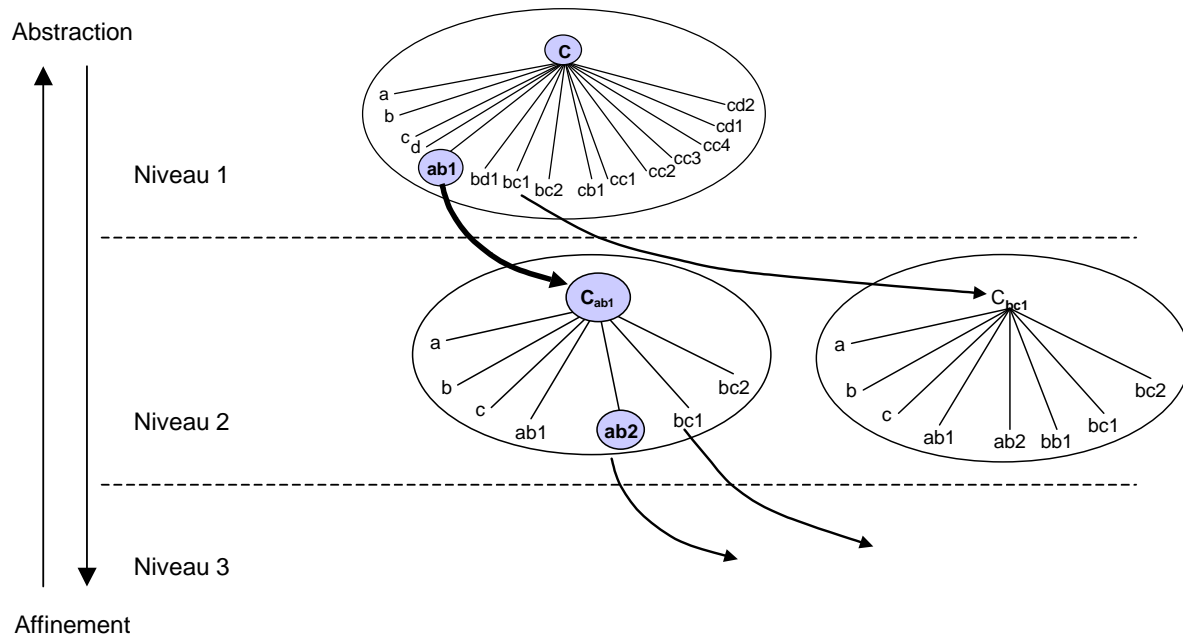


Figure 10: Exemple de liens entre cartes

3.2 Introduction de la carte MV-TMM

La carte présentée à la figure 11 représente le processus de la démarche MV-TMM dans son ensemble. Nous la désignons carte MV-TMM dans la suite (*Multi View Traceability Management Method*).

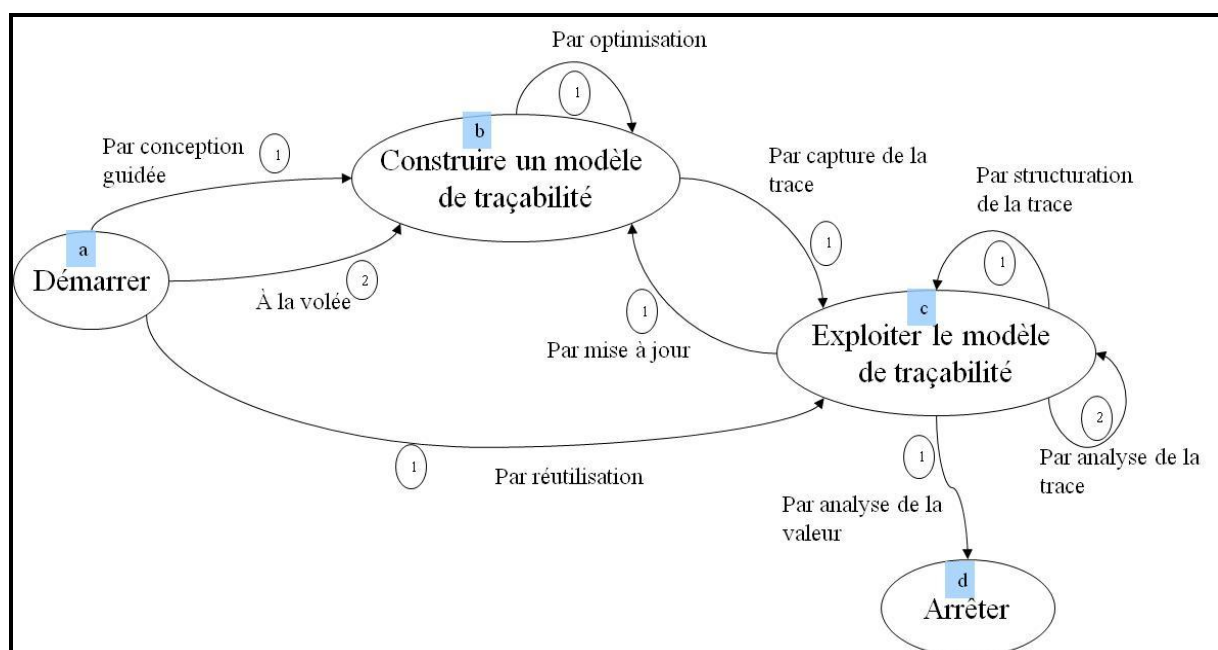


Figure 11: La carte de haut niveau représentant la démarche MV-TMM

Outre les intentions *Démarrer* et *Arrêter* qui existent dans toute carte, la carte MV-TMM possède deux autres intentions *Construire un modèle de traçabilité* et *Exploiter le modèle de traçabilité*.

- L'intention *Construire un modèle de traçabilité* recouvre les composantes du processus qui concernent la construction d'un modèle de traçabilité adapté aux besoins d'un projet.
- L'intention *Exploiter le modèle de traçabilité* recouvre les composantes du processus qui concernent l'exploitation et l'usage des données de traçabilité capturées.
- L'intention *Arrêter* recouvre les composantes du processus correspondant à l'analyse de la valeur ajoutée des informations de traçabilité vis-à-vis d'un projet.

Les 9 sections qui composent la carte proposent des stratégies pour la réalisation de ces trois intentions et définissent des flux dans leur réalisation. Ainsi, la construction du modèle de traçabilité est une étape préalable à l'exploitation et l'usage des informations de traçabilité.

Ainsi, la réalisation de la première intention *Construire un modèle de traçabilité* permet d'initier la création d'un modèle de traçabilité. Cela est représenté dans la carte par l'application de plusieurs stratégies:

- les stratégies *Par conception guidée*, *A la volée* ayant l'intention *Construire un modèle de traçabilité* pour cible en partant de *Démarrer*,
- la stratégie *Par optimisation* ayant pour source et destination l'intention *Construire un modèle de traçabilité*.

La réalisation de la deuxième intention *Exploiter le modèle de traçabilité* permet de guider la capture et l'usage des informations de traçabilité au cours du projet. Cela est représenté dans la carte par l'application de plusieurs stratégies :

- la stratégie *Par capture de la trace* ayant pour source l'intention *Construire un modèle de traçabilité* et pour destination l'intention *Exploiter le modèle de traçabilité*,
- la stratégie *Par réutilisation* ayant pour source l'intention *Démarrer* et pour destination l'intention *Exploiter le modèle de traçabilité*,
- la stratégie *Par structuration* ayant pour source et destination l'intention *Exploiter le modèle de traçabilité*.
- le processus d'exploitation du modèle de traçabilité se termine par réalisation de la stratégie *Par analyse de la valeur*.

Les neuf sections de la carte sont numérotées en adoptant la numérotation décrite à la section précédente 3.1 : les intentions portent des lettres, les stratégies des numéros. Les sections sont donc codées ab1, bc2, cc1 etc., ou de façon absolue, C.ab1, C.bc2, C.cc1 etc.

Les sections de la carte MV-TMM sont listées dans le tableau 1 ainsi que les DSI et DSS (en grisé dans le tableau) permettant de choisir ces sections:

Sections de la carte MV-TMM	Type
Progresser depuis Démarrer	DSI
Progresser vers Construire un modèle de traçabilité	DSS
C.ab1 : <Démarrer, Construire un modèle de traçabilité, Par conception guidée>	DRI
C.ab2 : <Démarrer, Construire le modèle de traçabilité, A la volée>	DRI
C.bb : < Construire le modèle de traçabilité, Construire le modèle de traçabilité, Par optimisation>	DRI
Progresser vers Exploiter le modèle de traçabilité	DSS
C.bc1 : <Construire un modèle de traçabilité, Exploiter le modèle de traçabilité, Par capture de la trace>	DRI
C.ac1 : <Démarrer, Exploiter le modèle de traçabilité, Par réutilisation>	DRI
Progresser depuis Exploiter le modèle de traçabilité	DSI
C.cc1 : < Exploiter le modèle de traçabilité, Exploiter le modèle de traçabilité, Par structuration de la trace>	DRI
C.cc2 : < Exploiter le modèle de traçabilité, Exploiter le modèle de traçabilité, Par analyse de la trace>	DRI
C.cb1 : < Exploiter le modèle de traçabilité, Construire un modèle de traçabilité, Par mise à jour>	DRI
Progresser vers Arrêter	DSS
C.cd1 : < Exploiter le modèle de traçabilité, Arrêter, Par analyse de la valeur >	DRI

Tableau 1: Les neuf sections de la carte MV-TMM

L'exécution du processus MV-TMM suit la structure de la carte qui le représente. Le parcours de la carte se fait d'une façon dynamique et contextuelle. A tout moment de l'exécution de la carte, l'ingénieur de traçabilité peut décider quelle intention réaliser et quelle stratégie utiliser. Ceci dépend de l'état du produit. La carte contient ainsi plusieurs chemins entre *Démarrer* et *Arrêter*.

Préalablement à sa réalisation, une section doit avoir été sélectionnée. La sélection des sections repose sur deux sortes de directives : les Directives de Sélection d'Intention (DSI) et les Directives de Sélection de Stratégie (DSS). Les Directives de Sélection d'Intention sont présentées dans la prochaine section, les Directives de Sélection de Stratégie dans la suivante.

4 Progresser depuis Démarrer

Pour démarrer le processus de la démarche MV-TMM, deux possibilités s'offrent à l'ingénieur de traçabilité : *Construire un modèle de traçabilité* ou *Exploiter le modèle de traçabilité*. Cette

dernière doit être choisie s'il existe un modèle de traçabilité qu'il est possible de réutiliser systématiquement dans un projet. Dans le cas contraire, la première possibilité permet de *Construire un modèle de traçabilité* en le concevant de toute pièce. La figure 12 présente la structure de la DSI permettant de progresser depuis *Démarrer*.

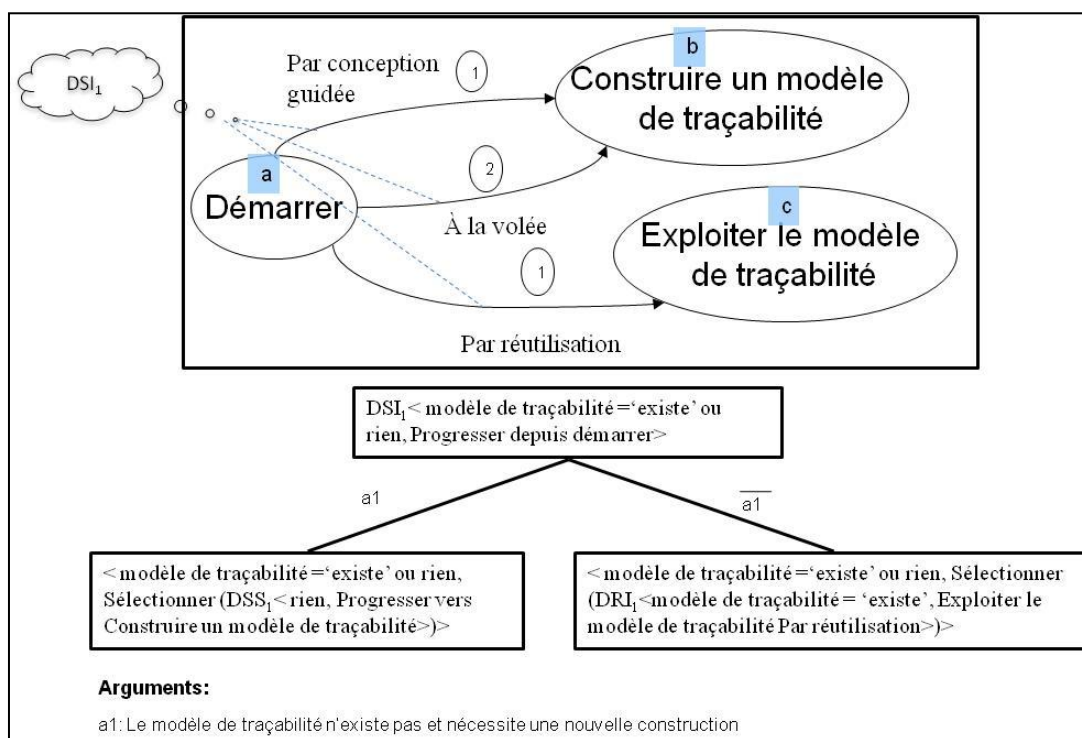


Figure 12: Directive de sélection d'intention permettant de Progresser depuis Démarrer

Cette directive met en avant l'aspect guidage de la construction d'un modèle de traçabilité qui caractérise notre approche MV-TMM. Il constitue un préalable à la capture et l'usage des informations de traçabilité. En effet, parmi les trois sections ayant pour source l'intention *Démarrer*, deux proposent de construire un modèle de traçabilité et la troisième suppose que celui-ci existe.

La construction du modèle de traçabilité peut s'effectuer de différentes façons qui sont décrites dans la section suivante. L'exploitation du modèle de traçabilité par réutilisation est, quant à elle, décrite à la section 6.2 de ce chapitre.

5 Construction du modèle de traçabilité

Il existe différentes façons de construire un modèle de traçabilité suivant que l'ingénieur de traçabilité possède les connaissances nécessaires et une description claire du besoin ou qu'il est nécessaire d'en concevoir un de toute pièce.

5.1 Progresser vers Construire un modèle de traçabilité

Cette section correspond à la réalisation de la directive $DSS_1 <rien, Progresser vers Construire un modèle de traçabilité> >$.

La construction du modèle traçabilité peut se faire de deux façons différentes. Afin d'aider les ingénieurs de traçabilité à choisir la stratégie la plus appropriée au contexte du projet, nous proposons la directive de sélection de stratégie présentée à la figure 13.

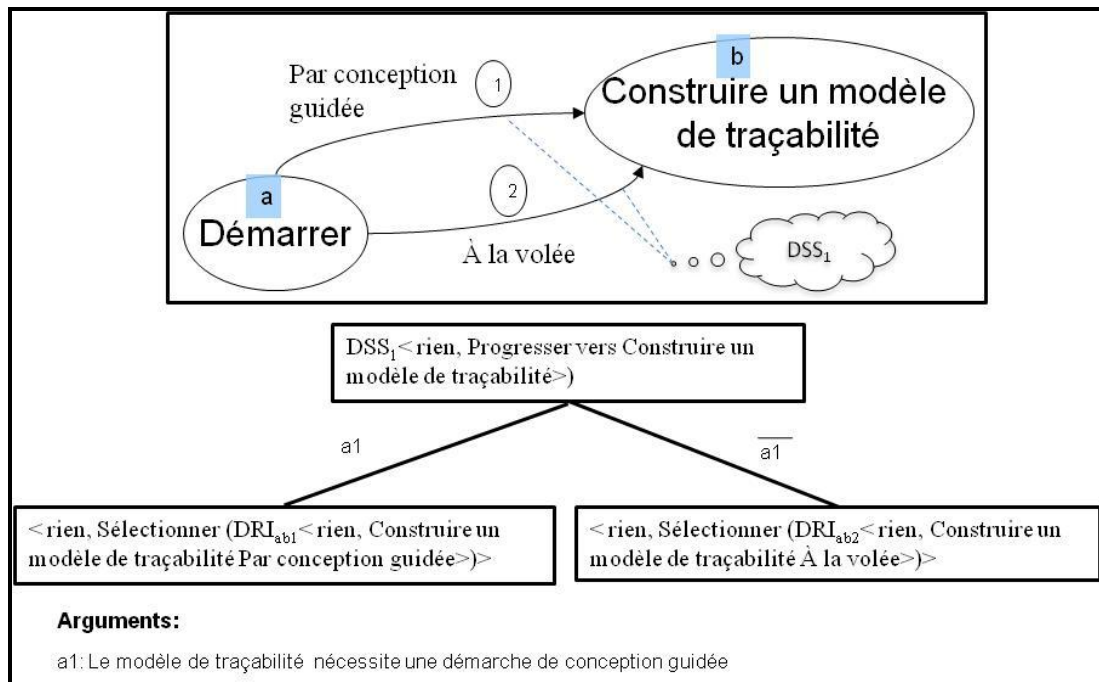


Figure 13: Directive de sélection de stratégie permettant de progresser vers *Construire un modèle de traçabilité*

Les deux sous-directives guident la sélection des directives de réalisation d'intention DRI_{ab1} , DRI_{ab2} . La DRI_{ab2} est sélectionnée, par exemple quand le besoin de traçabilité est déjà exprimé et la construction du modèle se fait directement. La DRI_{ab1} doit être choisie si le processus de construction du modèle de traçabilité doit être guidé et que le modèle soit adapté au contexte du projet et multi vues.

Le reste de la section 5.2 a pour but de décrire en détail chacune de ces deux directives ainsi que leurs affinements respectifs.

5.2 Construire un modèle de traçabilité par conception guidée

Cette section correspond à la description de la directive $<rien, Construire un modèle de traçabilité Par conception guidée>$. La directive permettant de construire le modèle de traçabilité par conception est stratégique. Elle se présente sous la forme d'une carte affinant la

section *<Démarrer, Construire un modèle de traçabilité, Par conception guidée>* de la carte MV-TMM dans l'encadré en haut de la figure 14.

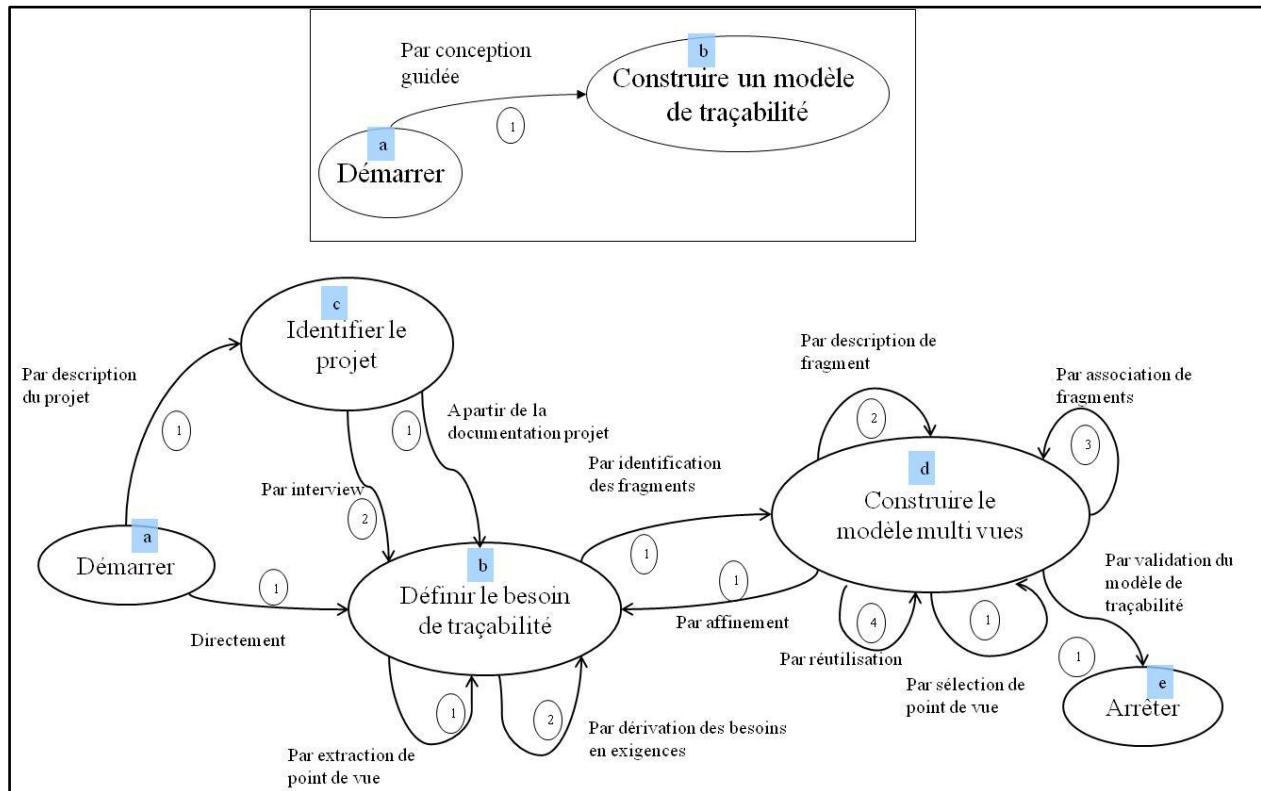


Figure 14: Directive stratégique permettant de construire un modèle de traçabilité

La carte C_{ab1} présentée à la figure 14 définit, outre les intentions *Démarrer* et *Arrêter* que l'on retrouve dans toute carte, les deux principales intentions du processus de construction du modèle de traçabilité, soit : *Identifier le projet*, *Définir le besoin de traçabilité*, *Construire un modèle multi vues*.

- L'intention *Identifier le projet* recouvre les composantes du processus qui concernent l'identification du contexte d'un projet.
- L'intention *Définir le besoin de traçabilité* recouvre les composantes du processus qui concernent la définition du besoin de traçabilité d'un projet.
- L'intention *Construire un modèle multi vues* recouvre les composantes du processus qui concernent la construction d'un modèle de traçabilité adapté aux besoins d'un projet.
- L'intention *Arrêter* recouvre les composantes du processus qui concernent la phase terminale de construction.

La carte C_{ab1} comprend les sections suivantes :

Sections de la carte affinant C.ab1
C _{ab1} .ac1 : <Démarrer, Identifier le projet, Par description du projet>
C _{ab1} .cb1 : < Identifier le projet, Définir le besoin de traçabilité, Par interview>
C _{ab1} .cb2 : < Identifier le projet, Définir le besoin de traçabilité, A partir de la documentation projet >
C _{ab1} .ab2 : <Démarrer, Définir le besoin de traçabilité, Directement>
C _{ab1} .bb1 : < Définir le besoin de traçabilité, Définir le besoin de traçabilité, Par extraction de point de vue>
C _{ab1} .bb2 : < Définir le besoin de traçabilité, Définir le besoin de traçabilité, Par dérivation des buts en exigences>
C _{ab1} .bd1 : < Définir le besoin de traçabilité, Construire un modèle de traçabilité multi vues, Par identification des fragments>
C _{ab1} .dd1 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Construire un modèle de traçabilité multi vue, Par sélection de point de vue>
C _{ab1} .dd2 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Construire un modèle de traçabilité multi vue, Par construction de fragment>
C _{ab1} .dd3 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Construire un modèle de traçabilité multi vue, Par association de fragment>
C _{ab1} .dd4 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Construire un modèle de traçabilité multi vue, Par réutilisation>
C _{ab1} .db1 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Définir le besoin de traçabilité, Par affinement>
C _{ab1} .de1 : < Construire un modèle de traçabilité multi vues, Arrêter, Par validation du modèle de traçabilité>

Tableau 2: Sections de la carte permettant de construire le modèle de traçabilité

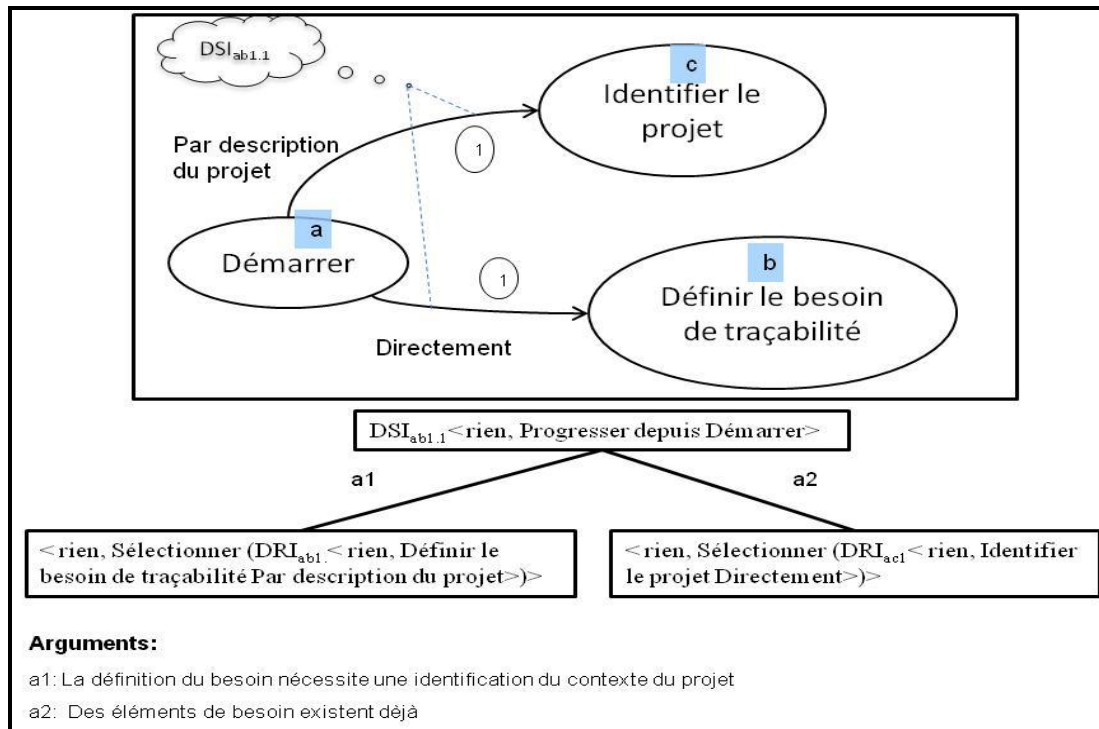
Chacune des différentes sections correspond à une directive et est détaillée aux sous-sections suivantes.

5.2.1 Progresser depuis Démarrer

Pour progresser depuis *Démarrer* de la carte C_{ab1} deux possibilités sont proposées: vers l'intention *Identifier le projet* ou vers l'intention *Définir le besoin de traçabilité*. Le premier choix est recommander dans les situations où la définition du besoin de traçabilité nécessite une description du contexte du projet. Ce choix est également indispensable dans le cas des projets complexe.

Le deuxième choix est recommandé dans le cas où le besoin de traçabilité est déjà initié par les responsables du projet. L'identification n'est pas nécessaire dans ce cas, en revanche ce besoin doit être affiné pour clarifier les points manquants ou ambigus.

La directive DSI_{ab1.1} (figure 15) se préoccupe du guidage de la sélection de l'intention la mieux adapté à la situation du projet au début du processus de conception guidée du modèle de traçabilité.

Figure 15: Directive de progression depuis démarrer $DSI_{ab1.1}$

5.2.2 Réaliser $DRI_{ab1.ab1}$ < rien, Identifier le projet Par description du projet >

L'objectif de la directive $DRI_{ab1.ab1}$ est de guider les ingénieurs des besoins à capturer les informations permettant l'identification de contexte projet (figure 16). L'application des sous directives associées à cette directive illustrent avec plus de détails les informations recherchées sur le contexte d'un projet, à savoir, les caractéristiques du projet, son organisation et son environnement.

La directive détermine également le périmètre de traçabilité dans un projet et identifie les différentes sources des besoins de traçabilité.

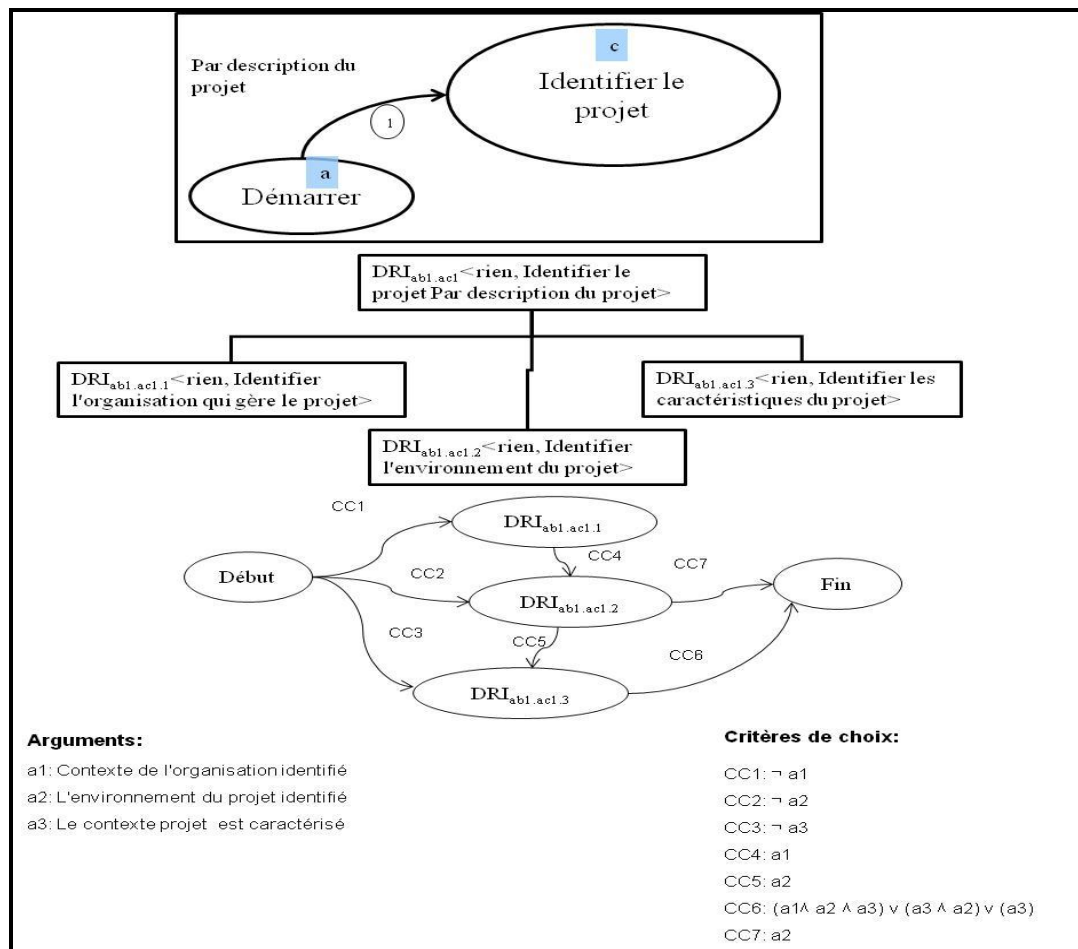


Figure 16: Directive de réalisation de l'identification du contexte

La directive $DRI_{abl.ac1}$ est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives.

$DRI_{abl.ac1.1}$ < rien, Identifier l'organisation qui gère le projet >

Cette directive propose d'identifier la structure d'une entreprise afin d'en déduire les entités internes et externes concernées par la traçabilité (figure 17).

Le rôle de chaque entité dans le processus de traçabilité doit être clarifié afin que leur besoin soit pris en compte correctement.

La directive est décomposée en deux sous directives et propose deux choix: identification des entités internes, identification des entités externes.

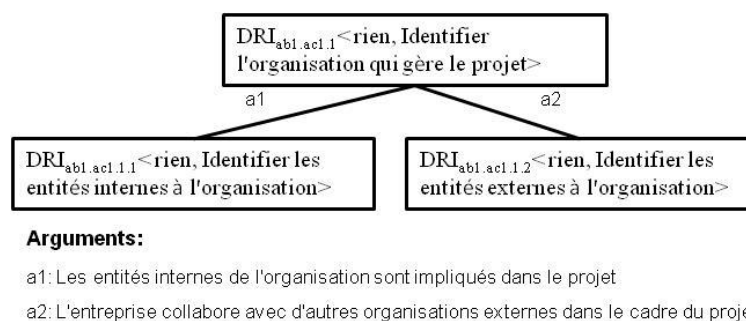


Figure 17: Sous directives d'identification de l'organisation

La directive $DRI_{ab1.ac1.1}$ identifie les différents départements et services qui composent une entreprise et qui sont impliqués dans les activités d'un projet. La directive $DRI_{ab1.ac1.1}$ identifie les entreprises externes qui travaillent dans le même projet (les sous traitant par exemple).

Le résultat d'application des deux sous directives est présenté dans la figure 18. Ce dernier présente un exemple d'instanciation du modèle décrivant l'élément Organisation projet du méta modèle MV-TMM. La figure 18 montre également les attributs qui caractérisent chaque type d'entités: nature du service fourni, activité de l'entité, mission, livrable fourni, etc.

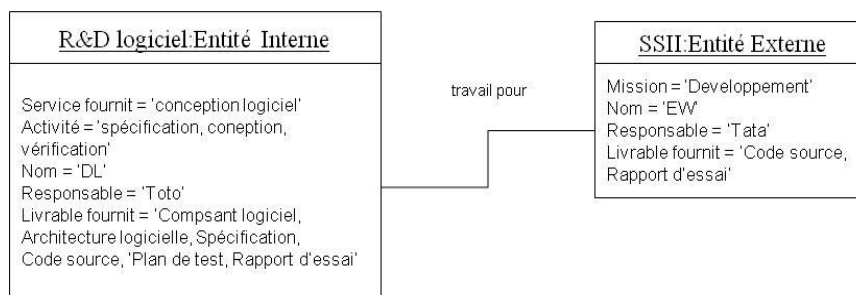


Figure 18: Exemple de résultat de la directive $DRI_{ab1.ac1.1}$

$DRI_{ab1.ac1.2}$ < rien, Identifier l'environnement du projet >

Cette directive suggère aux ingénieurs de besoin d'identifier l'environnement social et technique du projet (figure 19). L'environnement social est composé des personnes membres du projet, tandis que l'environnement technique se compose des outils logiciels mis en œuvre pour réaliser les travaux de gestion ou d'ingénierie dans un projet.

A travers cette directive l'ingénieur de besoin doit être en mesure de définir en détail la nature des engagements des personnes dans un projet ainsi que la fonction des outils utilisés.

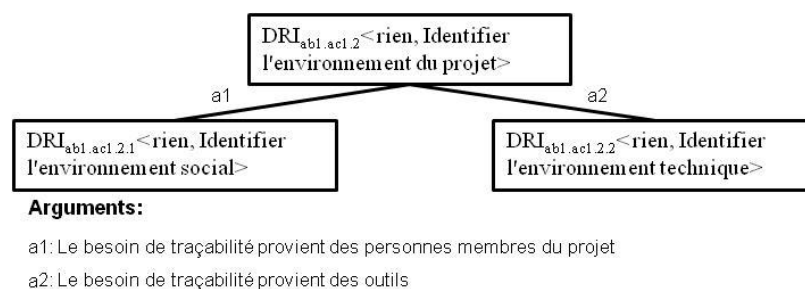


Figure 19: Directives d'identification de l'environnement projet

Le résultat d'application des sous directives associés à la directive $DRI_{abl.ac1.2}$ est présenté dans la figure 20. Ce dernier montre un exemple d'instance du modèle qui décrit l'élément Environnement projet du méta modèle MV-TMM. Il montre également les attributs caractérisant l'environnement social et technique tels que, nom, rôle, type d'engagement pour une Personne et fonction pour un Outil.

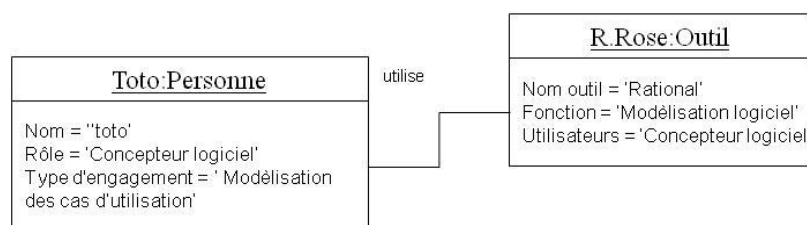


Figure 20: Exemple de résultat de la directive $DRI_{abl.ac1.2}$

$DRI_{abl.ac1.3}$ < rien, Identifier les caractéristiques du projet >

Cette directive vise à décrire les caractéristiques d'un projet en termes de cycle de vie et activité d'ingénierie ou de gestion (figure 21). Elle envisage également la détermination des objectifs du projet, sa taille, ses contraintes règlementaires, etc.

La directive est décomposée en trois sous directive comme le montre la figure 21.

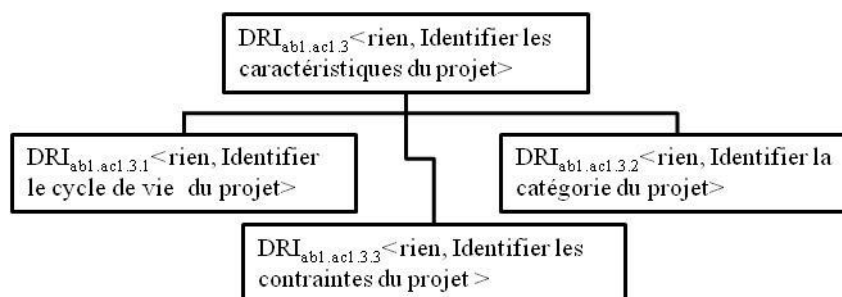


Figure 21: Directives de caractérisation du projet

Les sous directives $DRI_{ab1.ac1.3}$ guident la mise à jour des attributs qui composent l'élément Caractéristique projet du méta modèle MV-TMM.

Ainsi, l'application des sous directives permet l'identification des phases, des activités et les autres caractéristiques du projet (figure 22). Les sous directives se préoccupent également de déterminer les points critiques qui impactent le succès ou l'annulation du projet.

<u>Ω : Projet</u>
Problème traité = 'Evolution du système d'information SI de l'entreprise' Objectifs du projet = 'Renouvellement et ajout de plusieurs fonctionnalités du SI de l'entreprise' Critères de succès du projet = 'Maîtrise de la conception, traçabilité du cycle projet, respect du budget, fiabilité des tests' Durée du projet = 2ans Classe du projet = 'Nb. d'exigences: 1000 exigences, Budget: ~2Million euro, Complexité : expert-débutant, Technologies: solution avec plusieurs choix' Risque projet = 'Non prise en compte des différentes situations d'usage du nouveau SI' Contraintes = 'respect des normes de qualité' Normes et standards = 'ISO' Principales phases du projet = 'Besoin, Exigences, spécification, réalisation, validation'

Figure 22: Exemple d'instance de l'élément Projet du méta modèle MV-TMM

5.2.3 Réaliser $DRI_{ab1.ab1}$ < rien, Définir le besoin de traçabilité Directement >

Cette directive propose un chemin direct pour la définition du besoin de traçabilité à partir de l'intention Démarrer sans avoir à identifier le contexte d'un projet (figure 23). En effet, la directive de sélection précédente $DSS_{ab1.1}$ propose de sélectionner la directive $DRI_{ab1.ab1}$ dans le cas où le besoin de traçabilité est prédéfini.

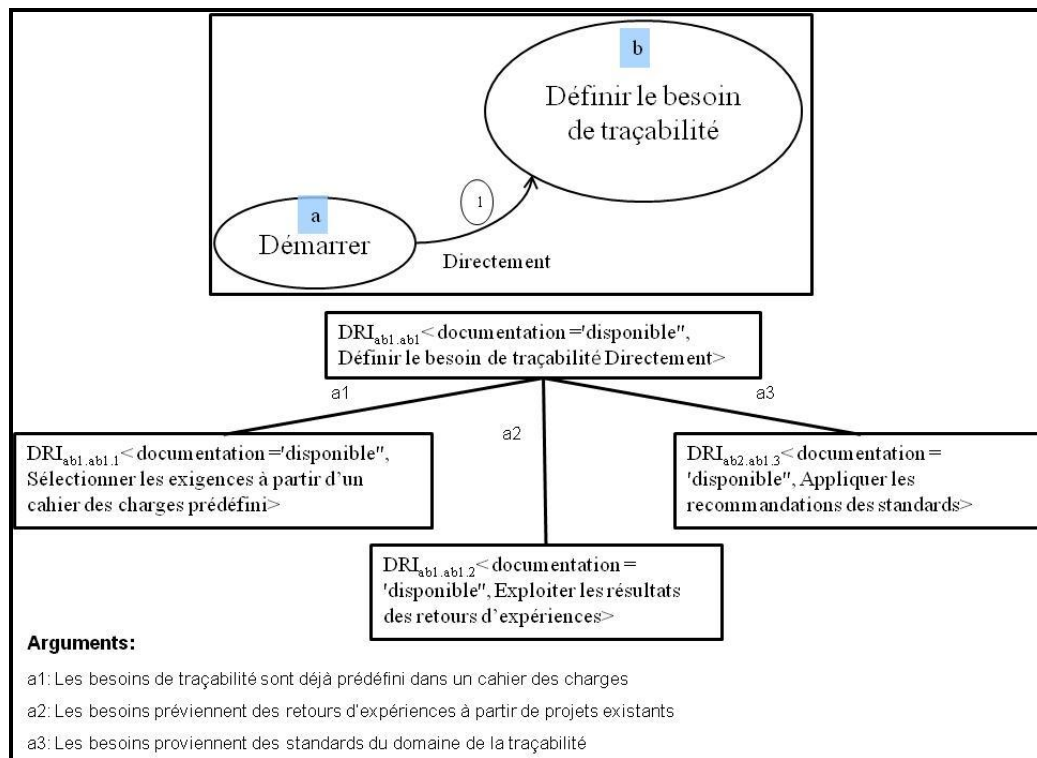


Figure 23: Sous-directives de définition de besoin directement

La directive $DRI_{ab1.ab1}$ est de type choix. Elle propose un choix parmi trois sous directives:

$DRI_{ab1.ab1.1}$ < documentation = 'disponible', Sélectionner les exigences à partir d'un cahier des charges prédéfini >

Dans le cas d'un besoin prédéfini, cette directive propose d'exploiter le cahier des charges contenant le besoin de traçabilité afin de sélectionner uniquement les exigences liées à la traçabilité.

$DRI_{ab1.ab1.2}$ < documentation = 'disponible', Exploiter les résultats des retours d'expériences >

Cette directive propose d'exploiter les données issues des autres projets de l'entreprise. Le retour d'expérience aide à mieux connaître les situations d'usage de la traçabilité et par conséquent assure leurs prises en compte en amont. La lecture, analyse et synthèse des données des projets font partie des activités à réaliser dans le cadre de cette directive.

$DRI_{ab2.ab1.3}$ < documentation = 'disponible', Appliquer les recommandations des standards >

Dans certaines catégories de projet, les responsables sont amenés à appliquer les recommandations qui proviennent des standards et des normes afin de respecter les contraintes

du domaine de leur métier. Les standards et normes sont alors considérés comme des sources de besoin de traçabilité qu'un modèle de traçabilité doit prendre en compte. La $DRI_{ab2.ab1.3}$ directive propose de faire une synthèse des différentes normes et standards liées à la traçabilité et d'en extraire les exigences qui concernent le projet en cours.

5.2.4 Progresser vers Définir le besoin de traçabilité

La figure 24 présente la directive $DSS_{ab1.1}$ de sélection de stratégie permettant de capturer le besoin de traçabilité après l'identification du contexte d'un projet. Cette directive est de type choix et est composée de deux sous-directives de délégation permettant de sélectionner les directives de réalisation d'intention associée à chacune des deux sections.

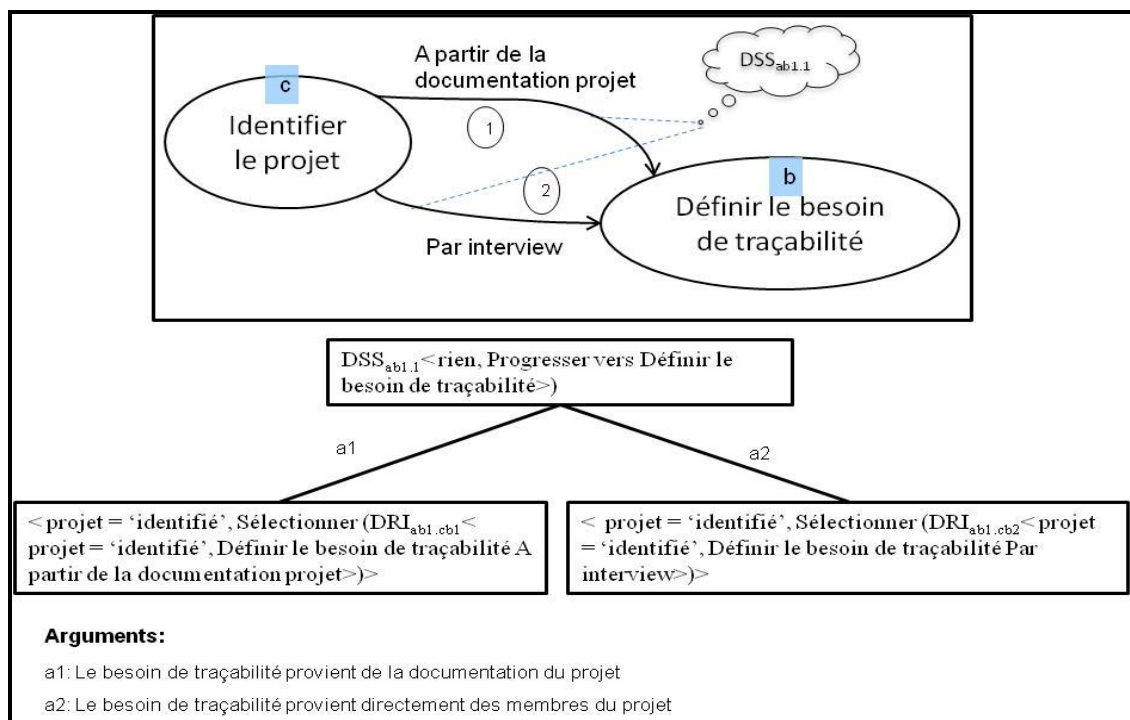


Figure 24: Directive de sélection de stratégie permettant de progresser vers Définir le besoin de traçabilité

Les stratégies qui visent à Définir le besoin de traçabilité ont comme résultat final l'instanciation de l'élément Besoin de traçabilité du méta modèle MV-TMM. La figure 25 présente l'instance obtenue par application de ces stratégies.

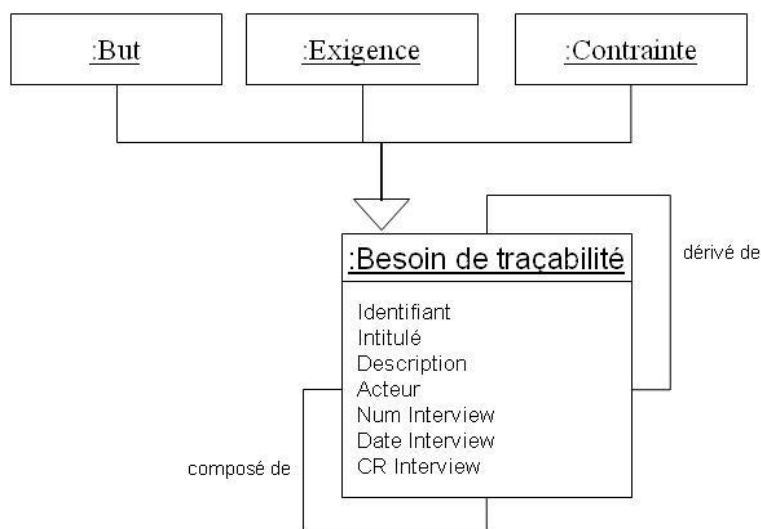


Figure 25: Instance de l'élément Besoin du méta modèle MV-TMM

Les sections suivantes donnent plus de détails sur les parties du modèle de la figure 25 obtenues par application des directives de réalisation associées à chaque stratégie de la carte MAP de capture du besoin de traçabilité.

5.2.5 Réaliser $DRI_{ab1.cb1}$ < contexte projet='identifié', Définir le besoin de traçabilité À partir de la documentation projet >

A tout projet est associé un ensemble de documents (plan de management, plan qualité, etc.) qui contient une masse d'informations à partir de laquelle il est possible d'identifier et d'extraire des besoins de traçabilité.

L'objectif de la directive $DRI_{ab1.cb1}$ est de guider les ingénieurs de besoin à capturer le besoin de traçabilité d'un projet à partir de la documentation existante (figure 26). Cette directive est très utile dans les situations d'absence d'interlocuteur dans un projet.

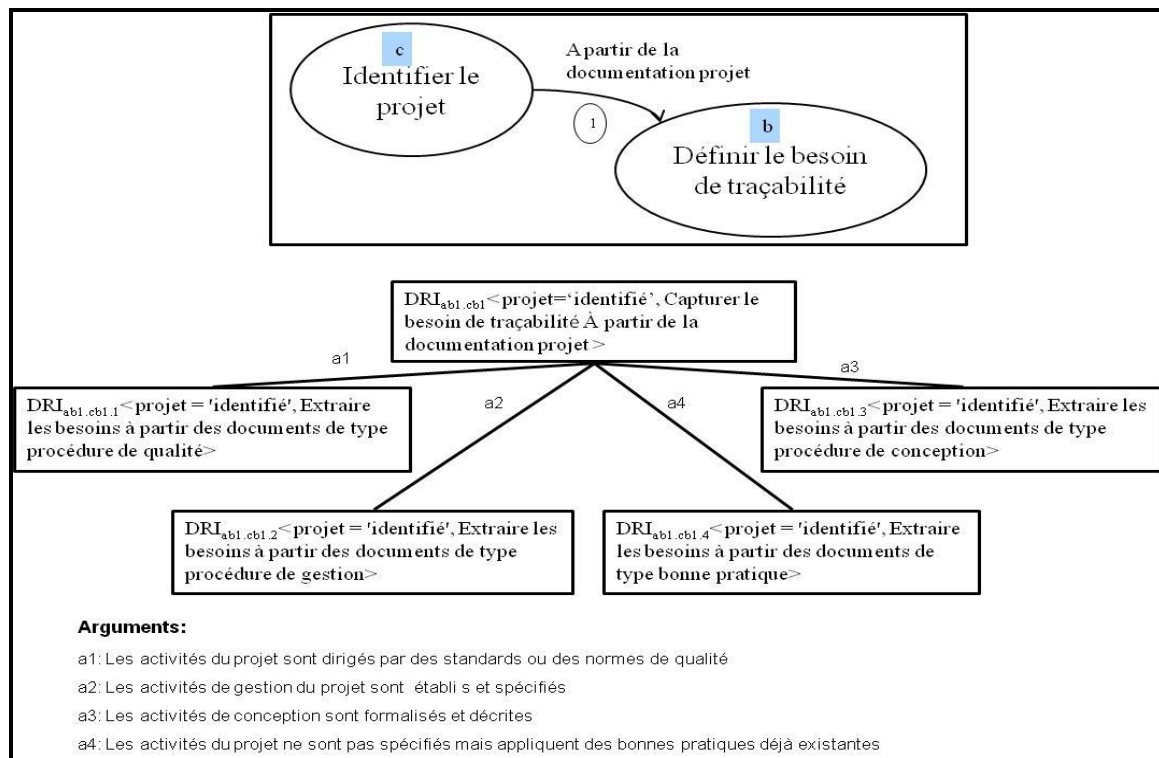


Figure 26: Directive de réalisation de la documentation

La directive $DRI_{ab1.cb1}$ est de type choix. Elle se décompose en quatre sous directives :

$DRI_{ab1.cb1.1} < \text{contexte projet} = \text{'identifié'}, \text{Extraire les besoins à partir des documents de type procédure de qualité} >$

Cette directive propose d'effectuer une lecture de la documentation du projet de type qualité afin d'en déduire les besoins de traçabilité du projet. Les documents de la qualité doivent décrire les procédures de gestion de la qualité du processus de développement et des livrables des projets. Ils sont différents des normes et standards cité précédemment.

$DRI_{ab1.cb1.2} < \text{contexte projet} = \text{'identifié'}, \text{Extraire les besoins à partir des documents de type procédure de gestion} >$

Cette directive propose d'effectuer une lecture de la documentation du projet de type gestion afin d'en déduire les besoins de traçabilité du projet. Cette documentation doit décrire les procédures et politiques de gestion appliquées par l'entreprise dans ces différents projets.

$DRI_{ab1.cb1.3} < \text{contexte projet} = \text{'identifié'}, \text{Extraire les besoins à partir des documents de type procédure de conception} >$

Cette directive propose d'effectuer une lecture de la documentation du projet de type procédure de conception afin d'en déduire les besoins de traçabilité du projet. Les documents de

conception proposent des directives de guidage des processus de conception détaillé tels que logiciel, électronique ou mécanique.

DRI_{ab1.cb1.4}< contexte projet = 'identifié', Extraire les besoins à partir des documents de type bonne pratique>

Cette directive propose d'effectuer une lecture de la documentation du projet de type bonne pratique afin d'en déduire les besoins de traçabilité du projet. Ce sont généralement des documents non formels qui aident les membres d'un projet à mener leurs travaux dans un projet. Certains documents de bonne pratique aide également à définir les activités de gestion de la traçabilité par exemple dans le cadre de la gestion des exigences d'un projet.

5.2.6 Réaliser DRI_{ab1.cb2}< contexte projet='identifié', Définir le besoin de traçabilité Par interview>

La directive DRI_{ab1.cb2} suggère aux ingénieurs des besoins de capturer les buts des responsables d'un projet (figure 27). Ces buts peuvent être génériques et sans lien direct avec la traçabilité tels que, des objectifs en terme de gestion des activités ou des livrables du projet.

En d'autres termes, cette directive permet de capturer les besoins illicites qui ne s'expriment qu'à travers des contacts directs avec les responsables du projet.

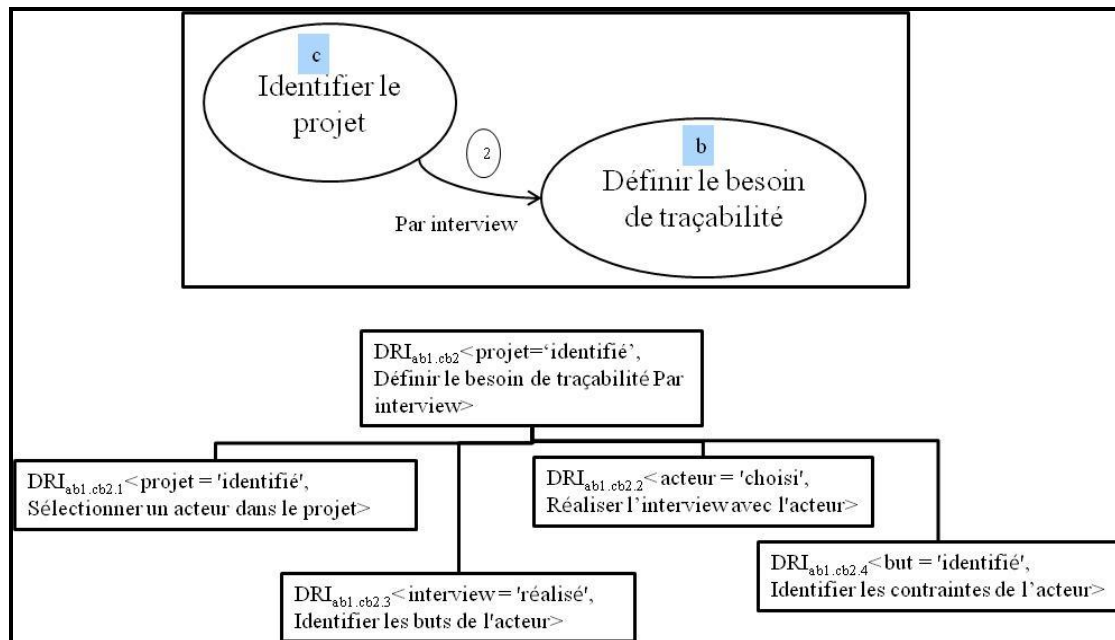


Figure 27: Directive de réalisation de l'interview

L'application de cette directive permet l'instanciation des attributs du modèle décrivant l'élément Besoin de traçabilité du méta modèle MV-TMM, tels que, le nom du responsable, le

Num_interview, le CR interview. Elle permet également l'instanciation des relations « décrit » et « provient de » du méta modèle MV-TMM.

La figure 28 présente les attributs de l'élément Besoin de traçabilité modifiés par application de la directive $DRI_{ab1.cb2}$.

<u>:But</u>
Identifiant= 'B1' Intitulé= 'Vérifier que toutes les exigences clients ont été tenues' Description = '' Responsables = 'Chef de projet' Num Interview = 'INTVW01' Date Interview = '010107' CR Interview = ''

Figure 28: Exemple d'instance des attributs de l'élément But spécialisant l'élément Besoin de traçabilité du méta modèle MV-TMM

La directive $DRI_{ab1.cb2}$ est de type plan. Elle se décompose en quatre sous directives :

$DRI_{ab1.cb2.1}$ < contexte projet = 'identifié', Sélectionner un acteur dans le projet >

Cette directive propose de sélectionner les personnes qui sont en mesure d'exprimer les objectifs du projet.

$DRI_{ab1.cb2.2}$ < acteur = 'choisi', Réaliser l'interview avec l'acteur >

Cette directive préconise l'utilisation de la technique d'interview ou celle d'organisation d'une séance de brainstorming avec les personnes sélectionnées afin de capturer les objectifs liés au projet. À partir de ces objectifs l'ingénieur de besoin doit chercher les informations complémentaires qui donnent plus de détails sur le besoin de traçabilité. À la fin de chaque interview un compte rendu (CR) doit être vérifié et validé.

$DRI_{ab1.cb2.3}$ < interview = 'réalisé', Identifier les buts de l'acteur >

Cette directive propose d'effectuer un filtre sur les informations obtenues des personnes interviewés et de ne garder que ce qui est lié à la traçabilité. En général un membre du projet n'est pas en mesure de faire la différence entre son souhait et un besoin de traçabilité.

$DRI_{ab1.cb2.4}$ < but = 'identifié', Classer les buts par point de vue >

Les informations identifiées par application de la directive $DRI_{ab1.cb2.3}$ nécessitent une classification suivant les points de vue de leur utilisation: ingénierie, gestion, qualité,

maintenance. Elle permet une bonne prise en compte des besoins au moment de la construction d'un modèle de traçabilité multi vues.

5.2.7 Réaliser $DRI_{ab1.bb2}$ < Besoin = 'identifié', Définir le besoin de traçabilité Par dérivation des besoins en exigences >

La directive $DRI_{ab1.bb2}$ propose aux ingénieurs de besoin de traduire les buts capturés via l'application des directives précédentes en termes d'exigences et de contraintes de traçabilité (figure 29). Ces dernières doivent être plus claires afin que les concepteurs des modèles de traçabilité puissent les traduire à leur tour en éléments de modèle de traçabilité.

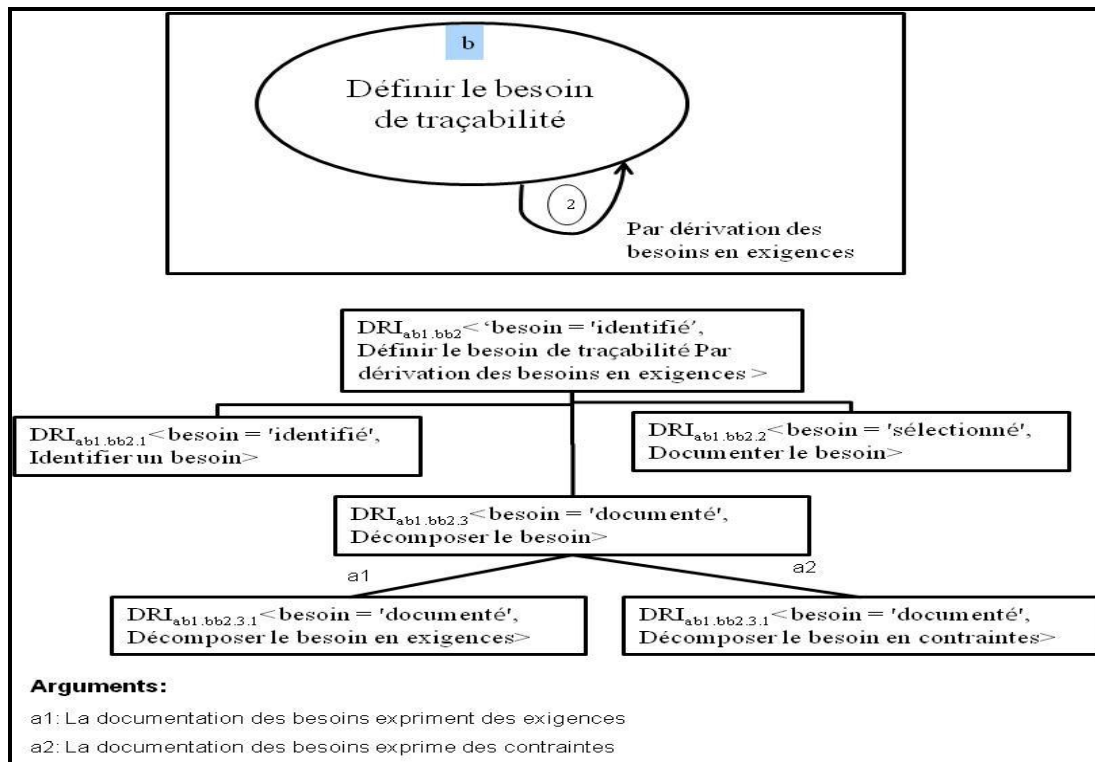


Figure 29: Directive de réalisation de la dérivation des besoins

Le résultat d'application de cette directive consiste à la mise à jour des relations "dérivé de" et "composé de" du modèle décrivant l'élément Besoin de traçabilité présenté précédemment à la figure 25.

La directive $DRI_{ab1.bb2}$ est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives:

$DRI_{ab1.bb2.1}$ < besoin = 'identifié', Identifier un besoin>

Cette directive sélectionne un besoin parmi ceux capturés via les directives précédentes.

$DRI_{ab1.bb2.2}$ < besoin = 'sélectionné', Documenter le besoin>

Étant donné que les besoins sont généralement abstraits ou de très haut niveau, ils nécessitent une description plus détaillée. Cette directive propose de documenter le besoin sélectionné afin de clarifier son contenu.

DRI_{ab1.bb2.3} < besoin = 'documenté', Décomposer le besoin >

Cette directive propose de traduire les besoins des acteurs du projet dans la terminologie du domaine de la traçabilité. La traduction consiste à utiliser des termes issus du domaine de la traçabilité afin d'exprimer le même besoin dans la terminologie de la traçabilité. Ainsi, chaque besoin est décomposé en une ou plusieurs exigences ou contraintes de traçabilité.

L'exploitation des cinq catégories d'information du méta modèle MV-TMM aide à la rédaction et à la formalisation des exigences de traçabilité. En effet, ces catégories sont utilisées principalement pour la conception des modèles de traçabilité. Elles peuvent aussi utiliser pour l'expression des exigences de traçabilité. Les chapitres 5 et 6 de cette thèse développent un exemple qui illustre cette décomposition.

La figure 30 montre un exemple de résultat après l'application de la directive xx.

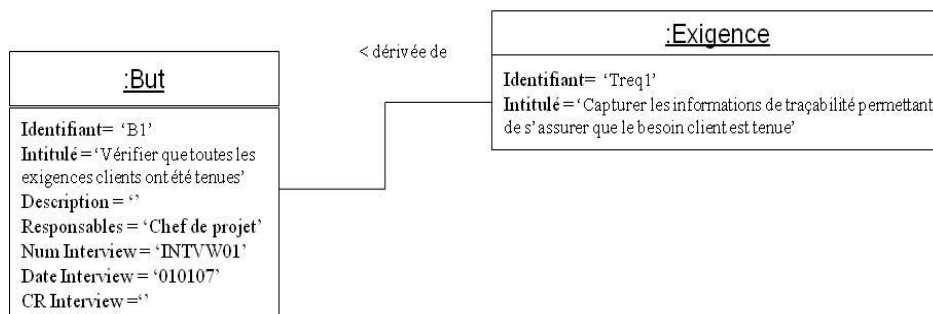


Figure 30: Exemple de réalisation de la dérivation

5.2.8 Réaliser DRI_{ab1.bb1} < Besoin = 'identifié', Définir le besoin de traçabilité Par extraction des points de vue >

L'identification des points de vue est considérée comme une activité fondamentale dans le processus de construction d'un modèle de traçabilité à travers notre démarche MV-TMM. Les points de vue permettent la construction d'un modèle multi vues qui répond aux différents points de vue d'utilisation de la traçabilité dans un projet. Ce qui facilite leur prise en compte en amont au moment de la construction du modèle de traçabilité.

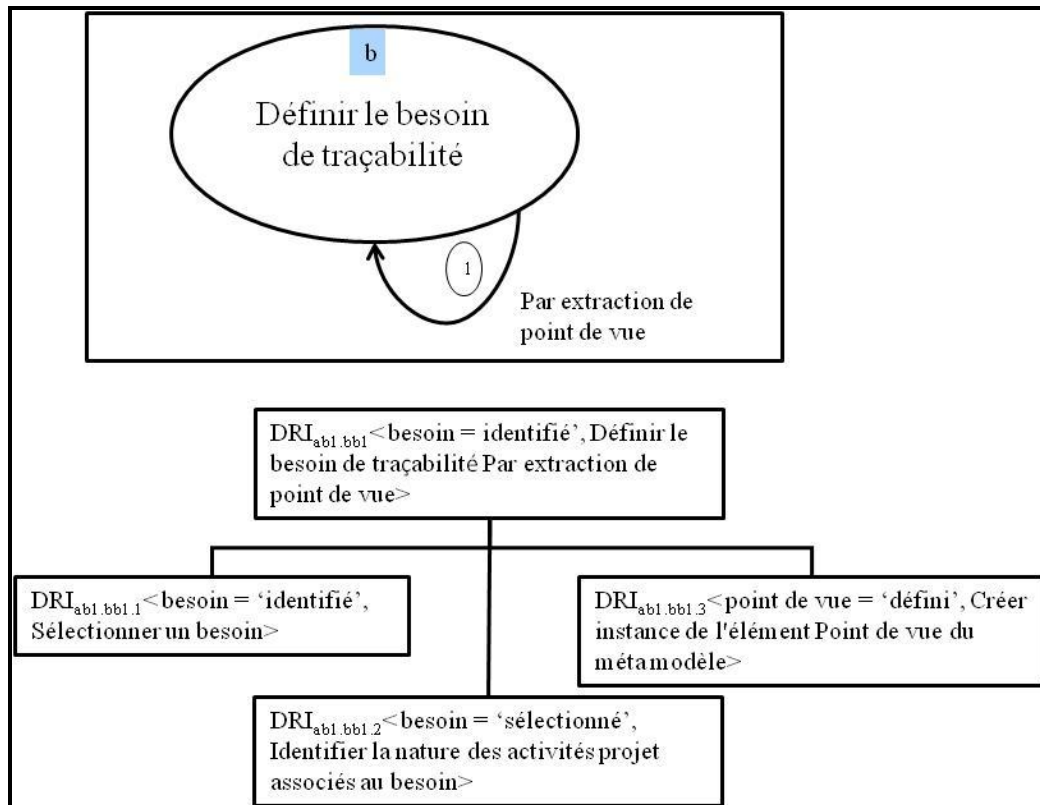


Figure 31: Directive de réalisation de l'extraction des points de vue

La directive $DRI_{ab1.bb1}$ est de type plan (figure 31). Elle guide les ingénieurs de besoin à identifier les points de vue en proposant les directives suivantes:

$DRI_{ab1.bb1.1}$ < rien, Sélectionner un besoin >

Cette directive propose de sélectionner un besoin parmi ceux identifié dans les étapes précédentes. À chaque besoin nous pouvons lui associer un ou plusieurs points de vue

$DRI_{ab1.bb1.2}$ < rien, Identifier la nature des activités projet associés au besoin >

Cette directive propose d'identifier la nature des activités réalisées dans un projet qui ont un lien avec le besoin de traçabilité sélectionné. Dans le cas d'activité de type gestion des évolutions le point de vue associé au besoin sera donc de type Maintenance (c'est un élément du méta modèle MV-TMM).

Si l'activité concerne les travaux de conception et de spécification du système en cours de développement dans un projet alors le point de vue associé à l'activité est de type Ingénierie.

De la même manière, si l'activité concerne une politique de gestion, d'organisation ou de suivi du projet alors le point de vue est de type Gestion.

Enfin, si l'activité concerne le respect des normes et standards alors le point de vue est de type Qualité

Prenons l'exemple du besoin suivant: "S'assurer que le besoin des clients est bien pris en compte dans la conception du système". Ce besoin relève un sujet lié au suivi du besoin des clients et de la conception. Elle concerne donc un point de vue Ingénierie et en particulier l'ingénierie et analyse des exigences.

DRI_{ab1.bb1.3}< rien, Créer des instances de l'élément *Point de vue* du méta modèle>

Cette directive propose d'instancier la partie du méta modèle MV-TMM qui concerne les points de vue.

5.2.9 Progresser depuis Construire un modèle de traçabilité multi vue

La progression à partir de l'intention Construire un modèle de traçabilité multi vue prend deux sens: vers l'intention *Définir le besoin de traçabilité* ou l'intention *Arrêter*.

Le premier choix est recommandé dans le cas où les concepteurs du modèle de traçabilité se rendent compte du manque de clarté dans le besoin initial qui ne leur permet pas d'avancer dans la construction du modèle de traçabilité, par exemple suite à un manque d'information sur la nature de certains attributs ou éléments de trace. Le deuxième choix est sélectionné à la fin du processus de construction du modèle de traçabilité pour validation.

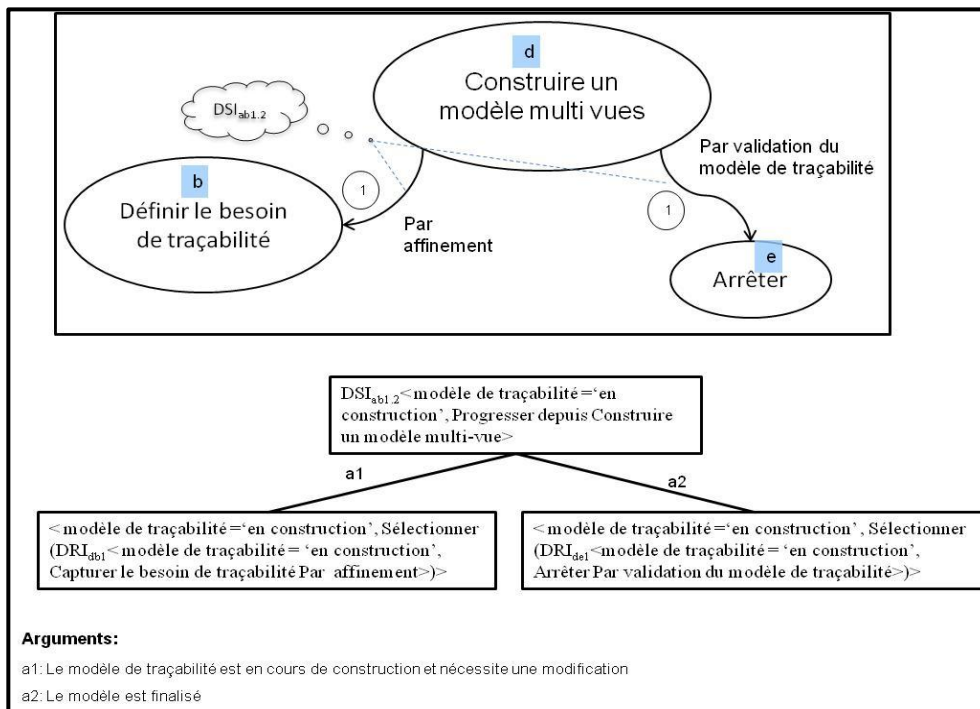


Figure 32: Directive de sélection de l'intention DSI_{ab1.2}

5.2.10 Réaliser $DRI_{ab1.cb1}$ < modèle de traçabilité = 'en construction', Définir le besoin de traçabilité Par affinement >

La directive $DRI_{ab1.cb1}$ propose d'affiner les besoins de traçabilité à partir de l'intention Construire un modèle de traçabilité multi vue (figure 33). En effet, dans certaines situations les concepteurs des modèles de traçabilité constatent un manque de détail dans un besoin initial qui ne leur permet pas d'avancer dans la conception d'un modèle de traçabilité. Ils ont besoin d'affiner ce besoin ou d'en créer un nouveau afin de progresser dans la construction du modèle.

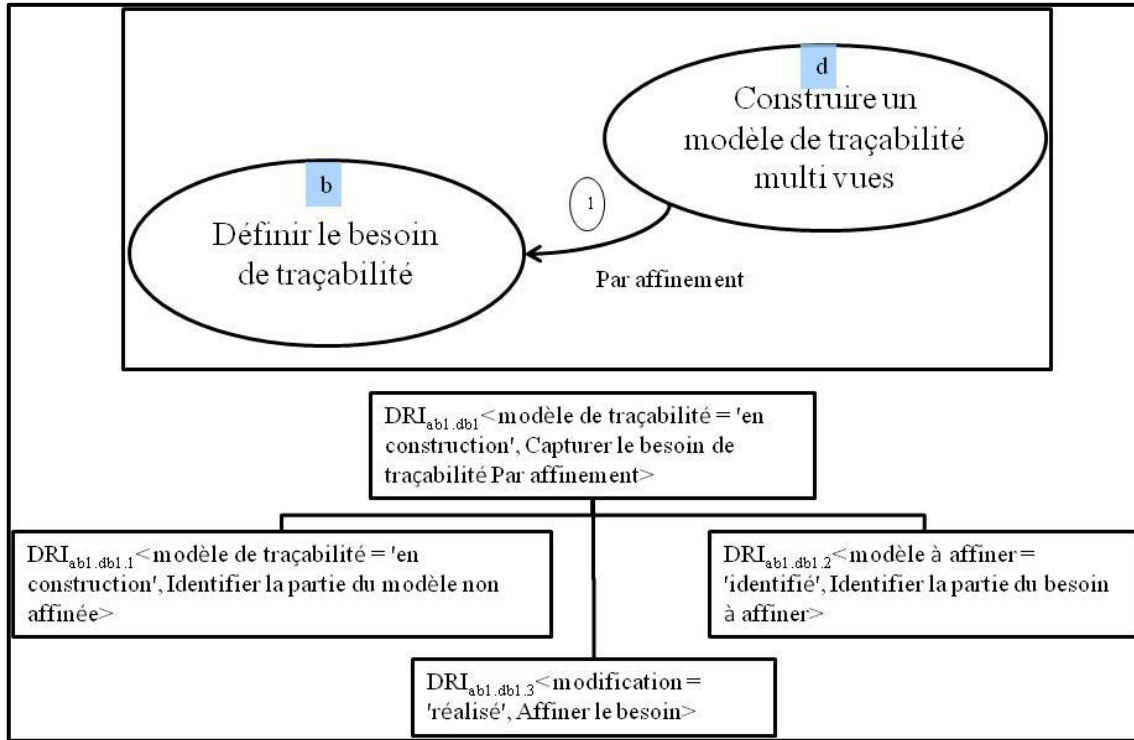


Figure 33: Directive de réalisation de l'affinement

La directive $DRI_{ab1.cb1}$ est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{ab1.cb1.1}$ < modèle de traçabilité = 'en construction', Identifier la partie du modèle non affinée >

Cette directive propose d'identifier la partie du modèle en cours de construction qui nécessite un affinement. Il s'agit de rechercher les éléments du modèle de traçabilité en cours de construction qui ont besoin d'un autre élément de traçabilité non identifié, tels qu'un lien de traçabilité ou une justification.

$DRI_{ab1.cb1.2}$ < modèle à affiner = 'identifié', Identifier la partie du besoin à affiner >

Cette directive propose de sélectionner la partie du besoin impactée par la demande d'affinement. La détermination de la personne à l'origine du besoin est une alternative dans le cas où le besoin n'est pas identifié.

DRI_{ab1.cb1.3}< modification = 'réalisé', Affiner le besoin>

Cette directive propose de compléter le besoin par affinement des parties imprécises. L'affinement peut se faire à travers la relecture ou la modification de la documentation du projet. Il peut se faire par réalisation d'une deuxième interview avec les membres du projet.

Le résultat de l'application de cette directive permet de mettre à jour les attributs du modèle d'affinement de l'élément Besoin de traçabilité du méta modèle MV-TMM.

5.2.11 Réaliser DRI_{ab1.bd1}< besoin = 'capturé', Construire un modèle de traçabilité multi vues Par identification des fragments>

La décomposition du modèle de traçabilité d'un projet en plusieurs fragments facilite la gestion de la complexité des informations de traçabilité tout au long du projet.

Cette directive propose d'identifier les fragments qui composent le modèle de traçabilité d'un projet (figure 34).

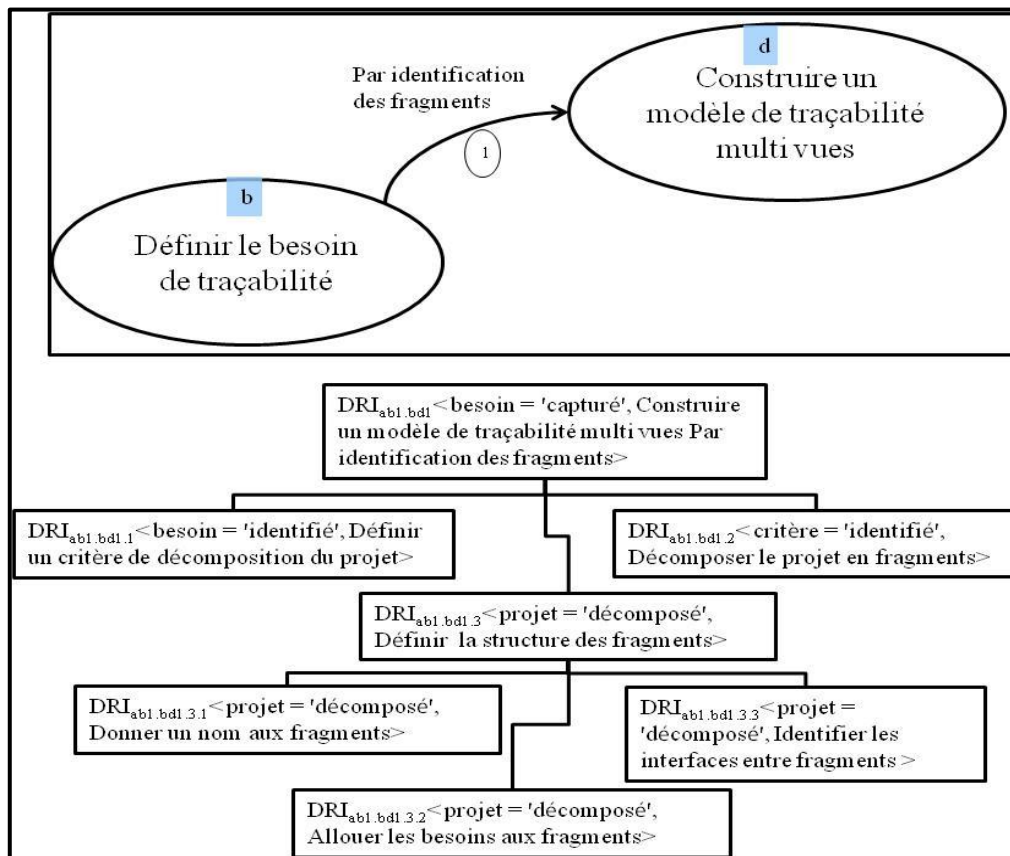


Figure 34: Directive de réalisation de l'identification des fragments

L'application de cette directive permet l'instanciation du modèle décrivant l'élément Fragment de trace du méta modèle MV-TMM (figure 35).

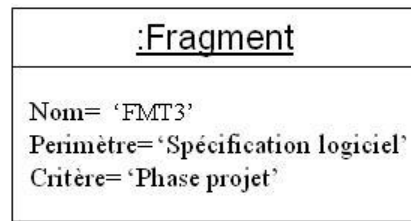


Figure 35: Exemple d'instance de l'élément Fragment de trace du méta modèle MV-TMM

La directive $DRI_{ab1.bd1}$ est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{ab1.bd1.1}$ < besoin = 'identifié', Définir un critère de décomposition du projet >

Cette directive suggère aux concepteurs des modèles de traçabilité de spécifier un critère de décomposition du projet afin de faciliter la représentation des informations de traçabilité qui sont réparties sur l'ensemble des fragments.

Le choix du critère dépend du contexte du projet, de sa taille et sa structure. Les phases, les Jalon ou l'Architecture fonctionnelle du projet sont des exemples de critères de décomposition. Cette directive instancie les attributs du modèle de la figure 35.

$DRI_{ab1.bd1.2}$ < critère = 'identifié', Décomposer le projet en fragments >

Cette directive propose de décomposer le projet suivant le critère défini dans l'étape précédente. Il identifie chaque fragment par sélection des composants du projet satisfaisant chaque critère.

$DRI_{ab1.bd1.3}$ < projet = 'décomposé', Définir les fragments >

Une fois la décomposition faite, cette directive propose de sélectionner les besoins associés à chaque fragment. Ceci permet de tracer le besoin relative à chaque fragment. La recherche des relations entre fragments fait partie des objectifs de cette directive.

Ainsi cette directive est réalisée en trois étapes: choix d'un nom du fragment, l'allocation du besoin par fragment et l'identification des interfaces entre fragments. Cette directive instancie la relation "répond à" du méta modèle MV-TMM

5.2.12 Réaliser $DRI_{ab1.dd1}$ < modèle de traçabilité = 'en construction', Construire un modèle de traçabilité multi vues Par sélection de point de vue >

Le concept de point de vue a été introduit dans la description du méta modèle de notre approche MV-TMM. Quatre points de vue de base ont été proposés: gestion, ingénierie, maintenance et qualité.

Un fragment d'un modèle de traçabilité est construit suivant un ou plusieurs points de vue. La directive $DRI_{ab1.dd1}$ propose de sélectionner un point de vue suivant lequel le fragment sera construit (figure 36). Nous pouvons choisir plusieurs points de vue pour le même fragment.

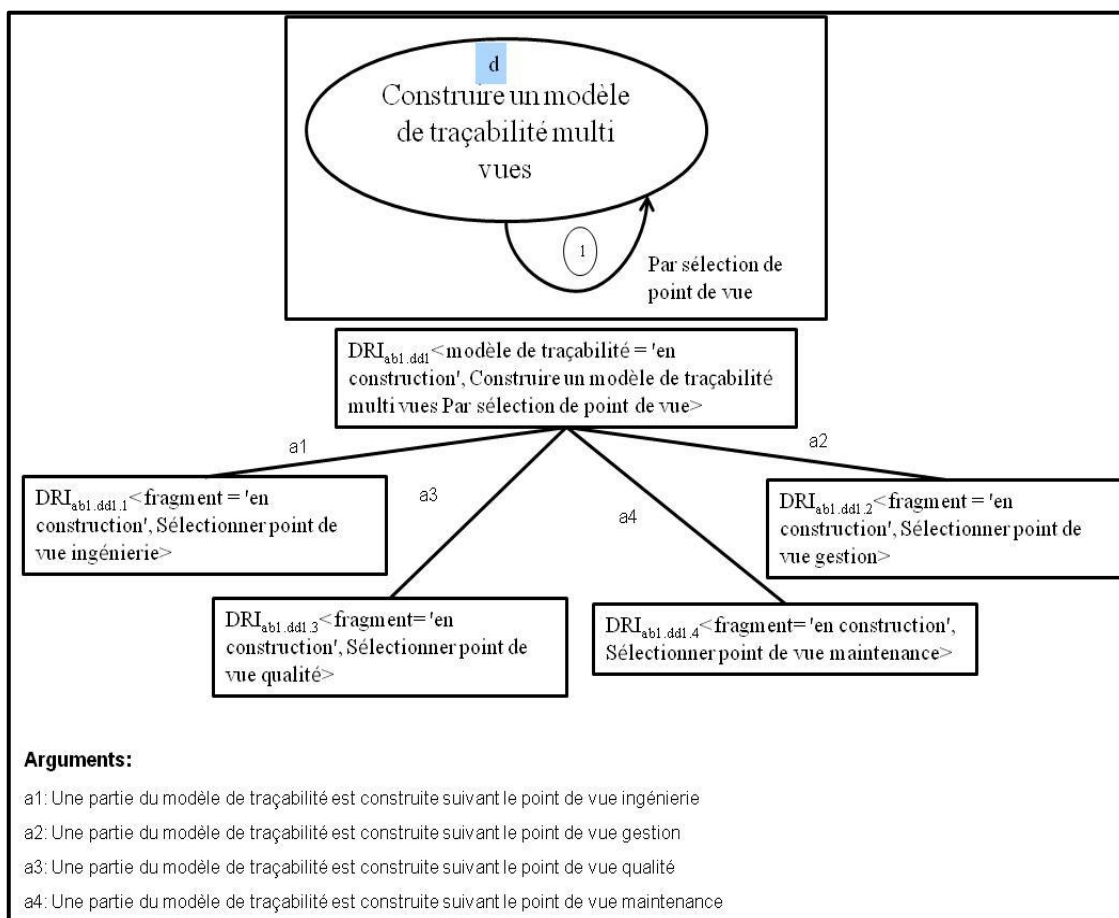


Figure 36: Directive de sélection de point de vue

La directive $DRI_{ab1.dd1}$ est de type choix. Elle se décompose en quatre sous directives :

$DRI_{ab1.dd1.1}$ < fragment = 'en construction', Sélectionner le point de vue ingénierie>

Cette directive suggère le choix du point de vue ingénierie comme perspectives de construction d'un fragment de modèle de traçabilité. Les éléments qui composeront le fragment ne représentent que les informations de traçabilité de type ingénierie.

$DRI_{ab1.dd1.2}$ < fragment = 'en construction', Sélectionner le point de vue gestion>

Cette directive suggère le choix du point de vue gestion comme perspectives de construction d'un fragment de modèle de traçabilité. Les éléments qui composeront le fragment ne représentent que les informations de traçabilité de type gestion.

$DRI_{ab1.dd1.3}$ < fragment = 'en construction', Sélectionner le point de vue qualité>

Cette directive suggère le choix du point de vue qualité comme perspectives de construction d'un fragment de modèle de traçabilité. Les éléments qui composeront le fragment ne représentent que les informations de traçabilité de type qualité.

DRI_{ab1.dd1.4} < fragment= 'en construction', Sélectionner le point de vue maintenance>

Cette directive suggère le choix du point de vue maintenance comme perspectives de construction d'un fragment de traçabilité. Les éléments qui composeront le fragment ne représentent que les informations de traçabilité de type maintenance.

5.2.13 Construire un modèle de traçabilité multi vues, par construction de fragments

La construction d'un modèle de traçabilité avec notre démarche MV-TMM se fait à travers la construction des fragments de modèle que nous avons identifiés par application de la directive précédente DRI_{ab1.bd1} (figure 37). Chaque fragment est construit indépendamment des autres fragments du projet et composé des éléments de traçabilité de notre méta modèle MV-TMM.

La directive DRI_{ab1.dd2} guide la construction de la partie du modèle de traçabilité qui concerne uniquement un fragment. L'ensemble des fragments assemblés constitue le modèle de traçabilité multi vues.

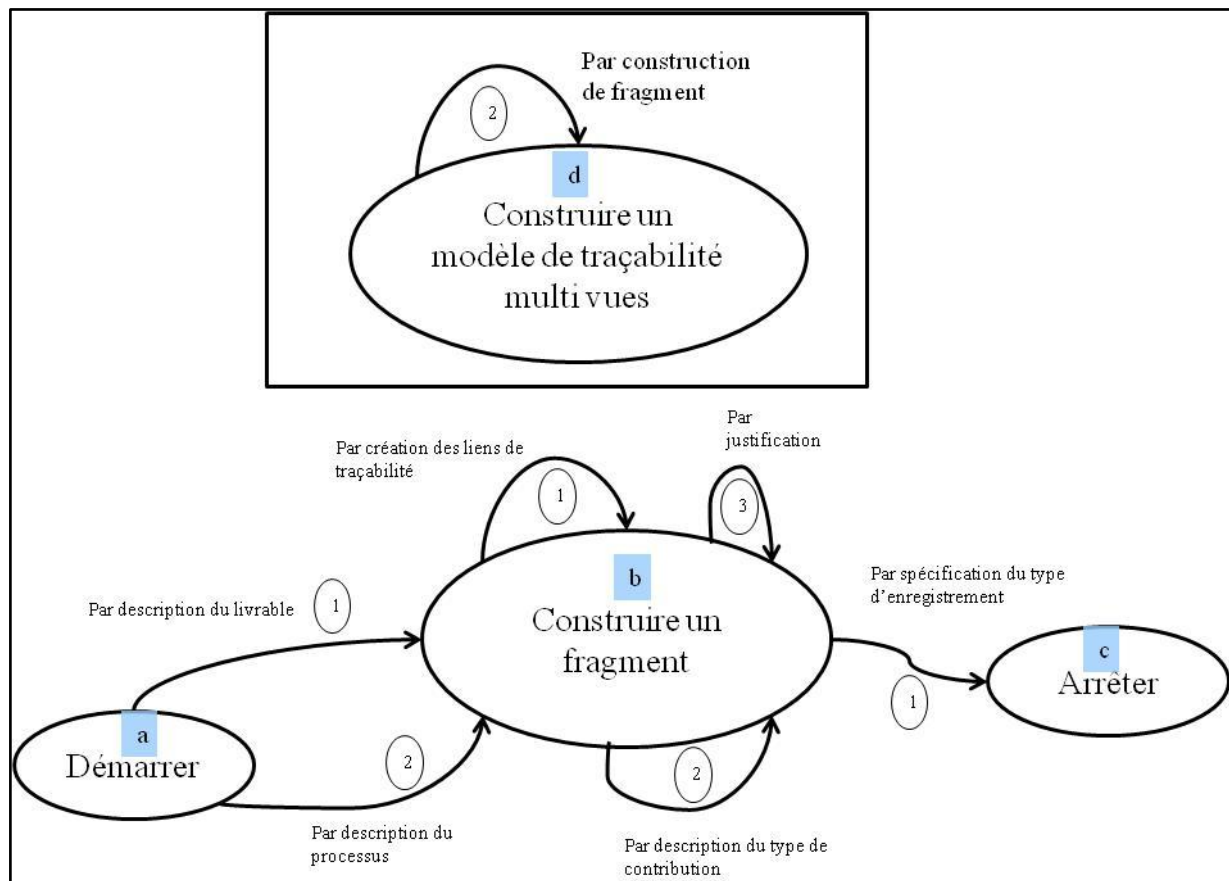


Figure 37: Directive de réalisation de la construction des fragments

La directive $DRI_{ab1.dd2}$ est de type stratégique (figure 37). Les stratégies proposées par cette directive sont elles même décomposées en sous directives.

$DRI_{ab1.dd2.ab1}$: <fragment = ‘identifié’ & point de vue = ‘sélectionné’, Construire un fragment Par description du livrable>

Cette directive propose de décrire les informations de traçabilité de type Livrable (un livrable est un élément de notre méta modèle MV-TMM). La description d'un livrable consiste à identifier les entités et les relations entre entités qui définissent sa structure interne. Les travaux du domaine de l'ingénierie des méthodes proposent un guidage qui aide à la formalisation des produits des méthodes (un livrable dans notre cas) [Ralyté, 01] [Ayad, 05]. Dans le cas de notre démarche MV-TMM la réalisation de la description des modèles de Livrable est obtenue par instantiation de l'élément Livrable que nous avons présenté dans le chapitre 3 qui décrit l'ensemble des éléments de notre méta modèle MV-TMM.

La figure 38 illustre un exemple de livrable en utilisant la notation et les directives du langage UML. La figure décrit un modèle Entité/Relation qui est souvent utilisé dans la modélisation logicielle.

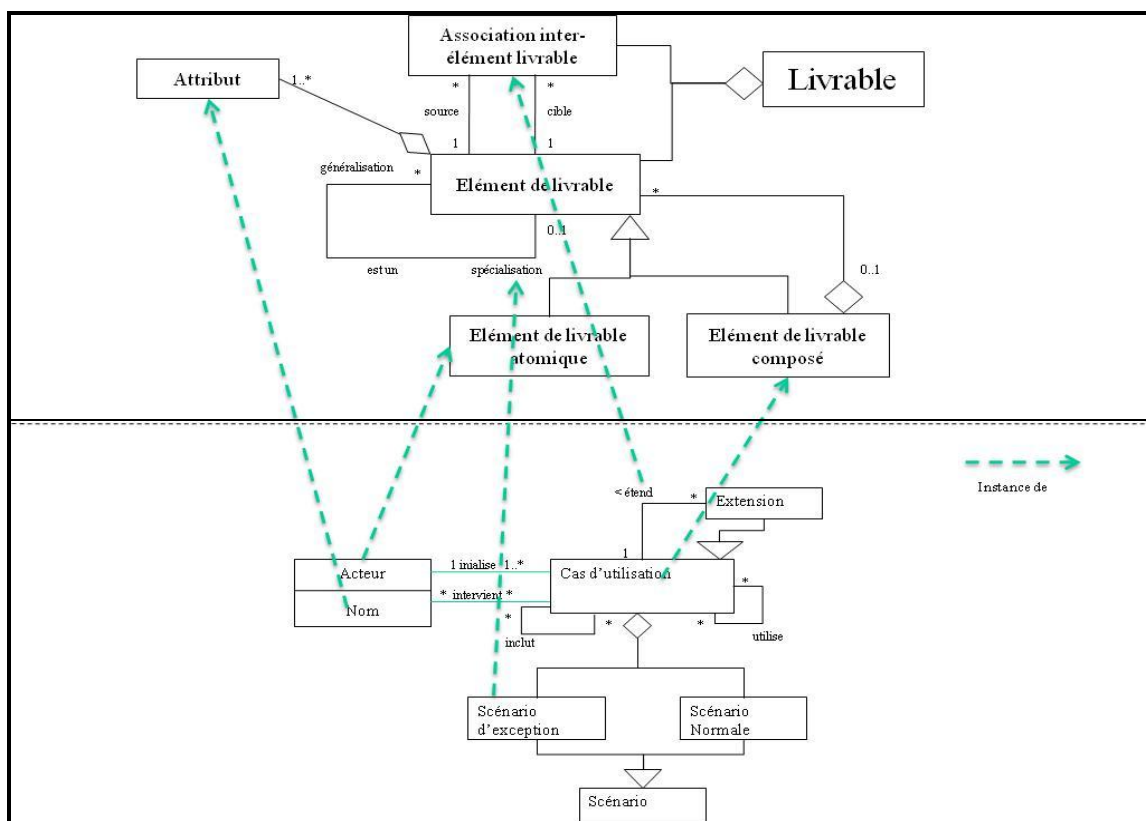


Figure 38: Exemple d'instance de l'élément livrable (Cas d'Utilisation)

DRI_{ab1.dd2.ab2}: <fragment = 'identifié' & point de vue = 'sélectionné', Construire un fragment Par description du processus>

Le but de cette directive est de décrire les éléments de traçabilité de type processus en terme d'étapes et de leur ordonnancement. Les travaux du domaine de l'ingénierie des méthodes fournissent également les moyens nécessaires pour la description des processus [Ralyté, 01] [Ayad, 05]. Nous rappelons que les mêmes modèles de processus peuvent être utilisés pour la représentation des informations de traçabilité liées aux processus, telles que, les étapes d'exécutions des processus de justification ou les étapes de création des liens de traçabilité, etc.

La réalisation de la formalisation des processus est obtenue par instanciation de l'élément Processus que nous avons présenté dans le chapitre 3 qui décrit l'ensemble des éléments de notre méta modèle MV-TMM.

Le modèle de processus de la figure 39 est un exemple de résultat de l'application de la directive DRI_{ab1.dd2.ab2}.

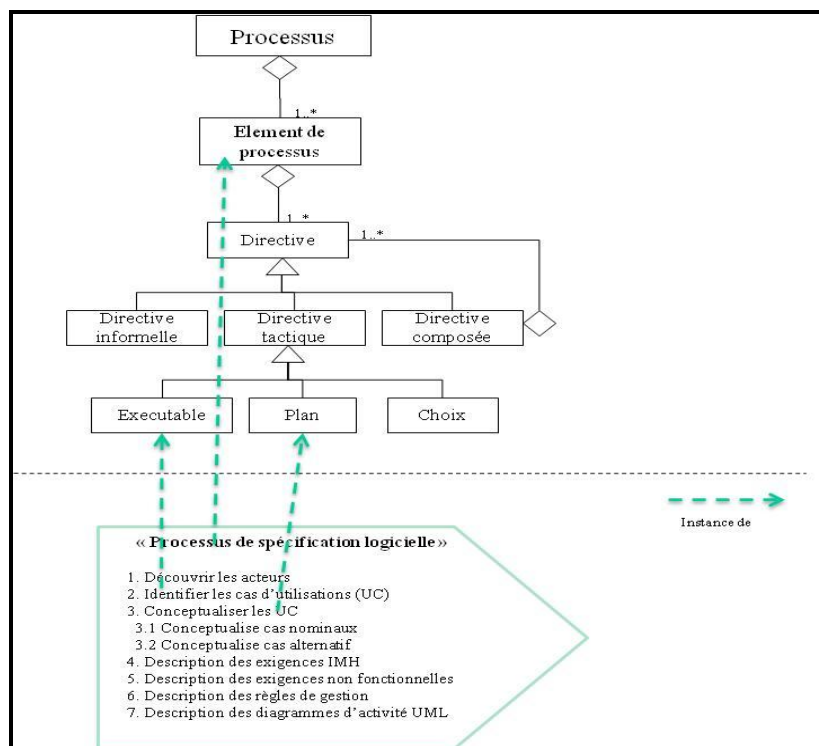


Figure 39: Exemple d'instance de l'élément Processus (Cas d'Utilisation)

DRI_{ab1.dd2.bb1}: <fragment = 'identifié', Construire un fragment Par création des liens de traçabilité>

Cette directive se préoccupe de la création des liens entre les informations de traçabilité. Elle propose des directives pour orienter le choix des liens qui sont adaptés à chaque catégorie d'information proposée par le méta modèle MV-TMM (figure 40). Les sous directives suivantes associés à cette directive proposent un guidage pour le choix de chaque type de lien.

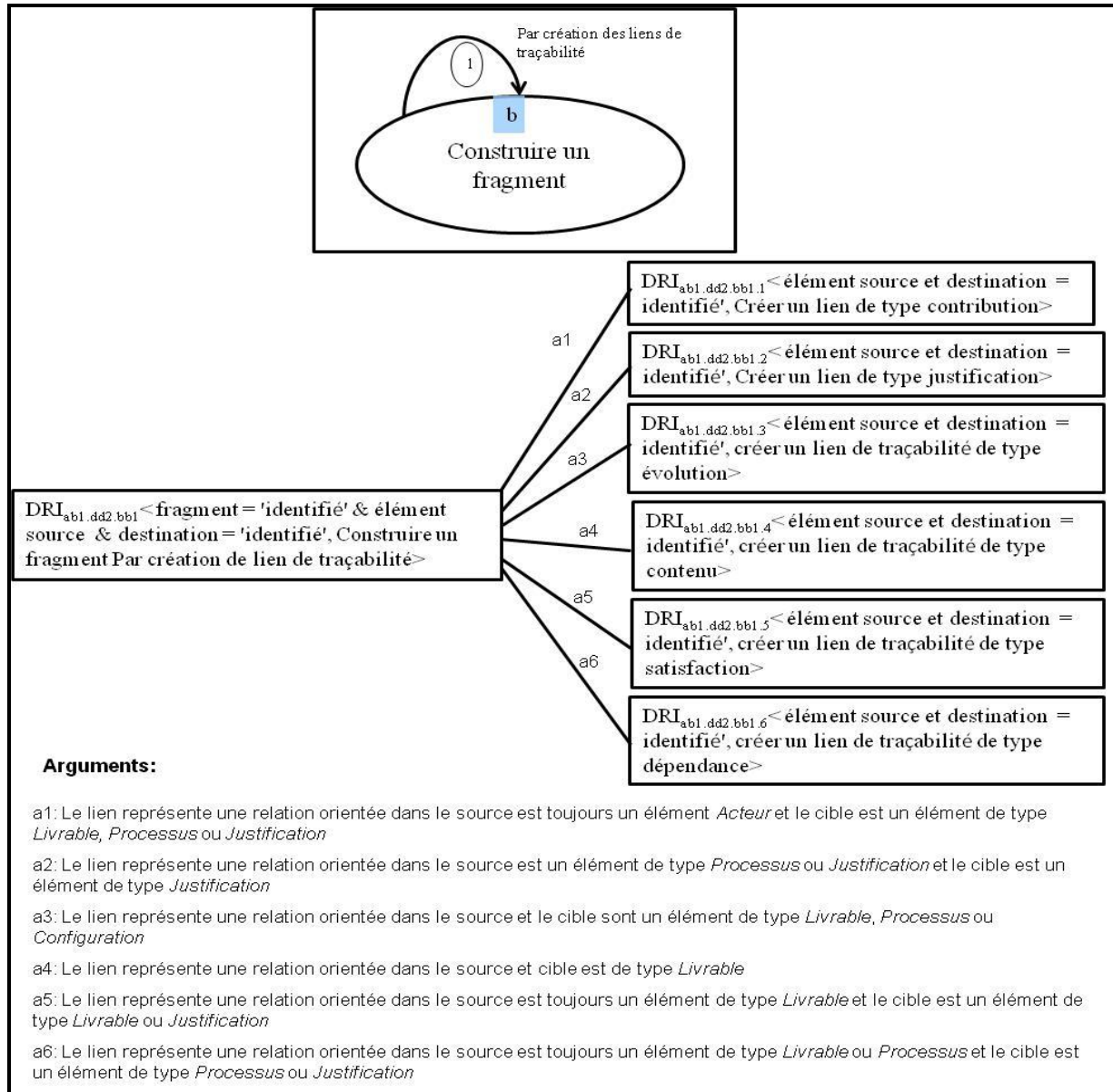


Figure 40: Directive de création des liens de traçabilité

La directive $DRI_{ab1.dd2.bb1}$ est de type choix. Elle se décompose en six sous directives :

$DRI_{ab1.dd2.bb1.1} < \text{élément source et destination} = \text{'identifié'}, \text{Créer un lien de type contribution} >$: Cette directive propose de créer un lien de type contribution. Ce genre de lien exige la participation de deux types d'informations de traçabilité dont l'une est toujours de type Acteur (Acteur est un élément du méta modèle MV-TMM). Les

informations associées aux types d'engagements de l'acteur vis-à-vis de l'autre information de traçabilité sont représentées comme propriétés du lien.

DRI_{ab1.dd2.bb1.2} < élément source et destination = identifié', Créer un lien de type justification>: Cette directive aide à la création de lien de type justification. Un lien de type justification relie deux informations de traçabilité dont l'une est de type Justification (Justification est un élément du méta modèle MV-TMM).

DRI_{ab1.dd2.bb1.3} < élément source et destination = identifié', créer un lien de traçabilité de type évolution>: Cette directive aide à la création de lien de type évolution. Un lien de type évolution relie deux informations de traçabilité de même nature ou de nature différent. Ce lien représente l'historique d'évolution d'une information de traçabilité. Plusieurs propriétés peuvent être associées à ce genre de liens tels qu'une référence d'une justification d'évolution, date, historique.

DRI_{ab1.dd2.bb1.4} < élément source et destination = identifié', créer un lien de traçabilité de type contenu>: Cette directive aide à la création de lien de type contenu. Un lien de type contenu relie deux informations de traçabilité de type Justification ou Livrable. En effet, ce genre de lien représente les relations classiques entre deux livrables, tels que des renvois vers une définition ou une norme.

DRI_{ab1.dd2.bb1.5} < élément source et destination = identifié', créer un lien de traçabilité de type satisfaction>: Cette directive aide à la création de lien de type satisfaction. Un lien de type satisfaction relie deux informations de traçabilité de type Livrable. La relation de satisfaction traduit un agrément entre deux livrables qui sont dans des niveaux d'abstraction verticales.

DRI_{ab1.dd2.bb1.6} < élément source et destination = identifié', créer un lien de traçabilité de type dépendance>: Cette directive aide à la création de lien de type dépendance. Un lien de type dépendance relie deux informations de traçabilité. Il traduit une relation de complétude entre les deux informations.

Ces six catégories de lien sont réalisées en trois étapes: l'identification de l'élément source, identification de l'élément destination et la création d'attributs de lien. La figure 37 présente la partie du méta modèle MV-TMM instanciée après l'application de la directive *DRI_{ab1.dd2.bb1}*.



Figure 41: Exemple de lien de traçabilité de type Satisfaction

DRI_{ab1.dd2.bb2}: <fragment= 'identifié', Construire un fragment Par description du type de contribution>

La nature de la contribution des membres d'un projet a été identifiée à travers l'intention *Capter le besoin de traçabilité*. Elle varie suivant la catégorie d'information de traçabilité utilisée et aussi suivant le rôle des contributeurs. Par exemple une personne peut avoir le rôle d'un simple lecteur d'une information de traçabilité mais un rédacteur d'une autre. En outre, la sémantique et la nature de la contribution dépend du contexte de leur application.

Les directives proposées dans l'approche de [Gotel, 97] pour la description du type de contribution sont réutilisables dans la présente directive. Nous proposons dans la figure 38 des directives simples et adaptées à la structure de notre méta modèle MV-TMM.

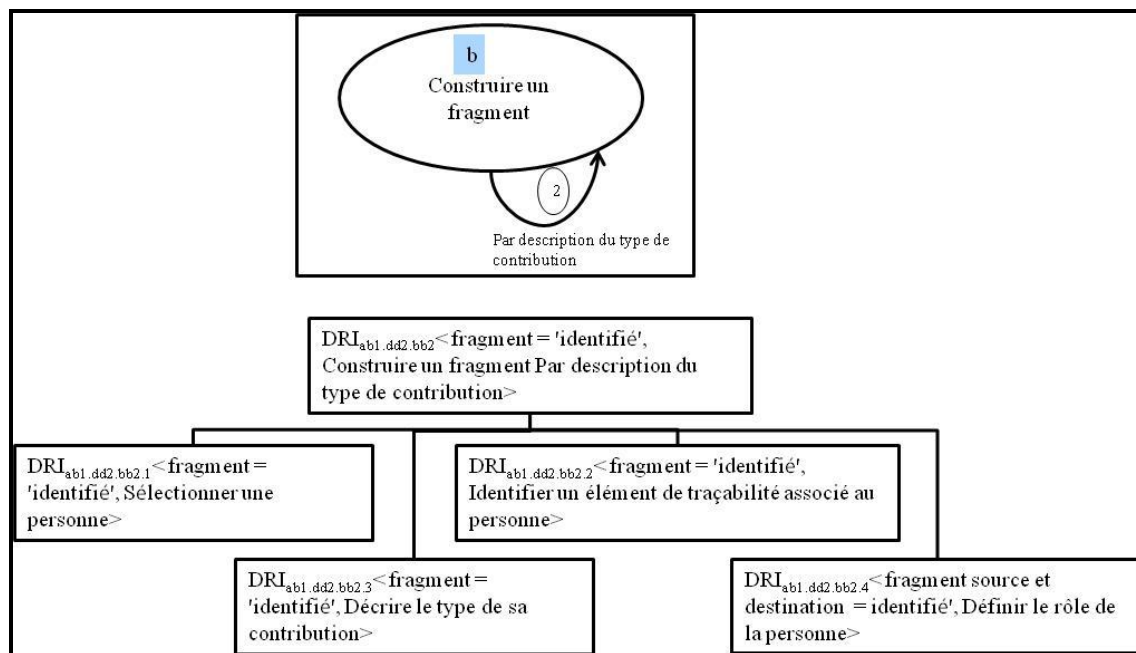


Figure 42: Directive de description d'une contribution du méta modèle MV-TMM

La directive DRI_{ab1.dd2.bb2} est de type plan (figure 42). Elle est réalisée en quatre étapes : identification d'une personne membre du projet, identification d'un élément de traçabilité, description du type de contribution de la personne vis-à-vis de l'élément et l'instanciation du modèle d'affinement de l'élément Acteur du méta modèle MV-TMM.

La figure 43 présente la partie du méta modèle modifiée après l'application de la directive DRI_{ab1.dd2.bb2}.



Figure 43: Exemple d'instance de l'élément Acteur du méta modèle MV-TMM

DRI_{ab1.dd2.bb3}: <fragment = 'identifié', Construire un fragment Par justification>

Cette directive propose d'associer une justification à n'importe quelle information de traçabilité (figure 44). Les informations de justification sont des catégories particulières qui visent à tracer les raisons de création ou de modification des autres informations de traçabilité. Elles sont de types formels, semi-formels ou informels.

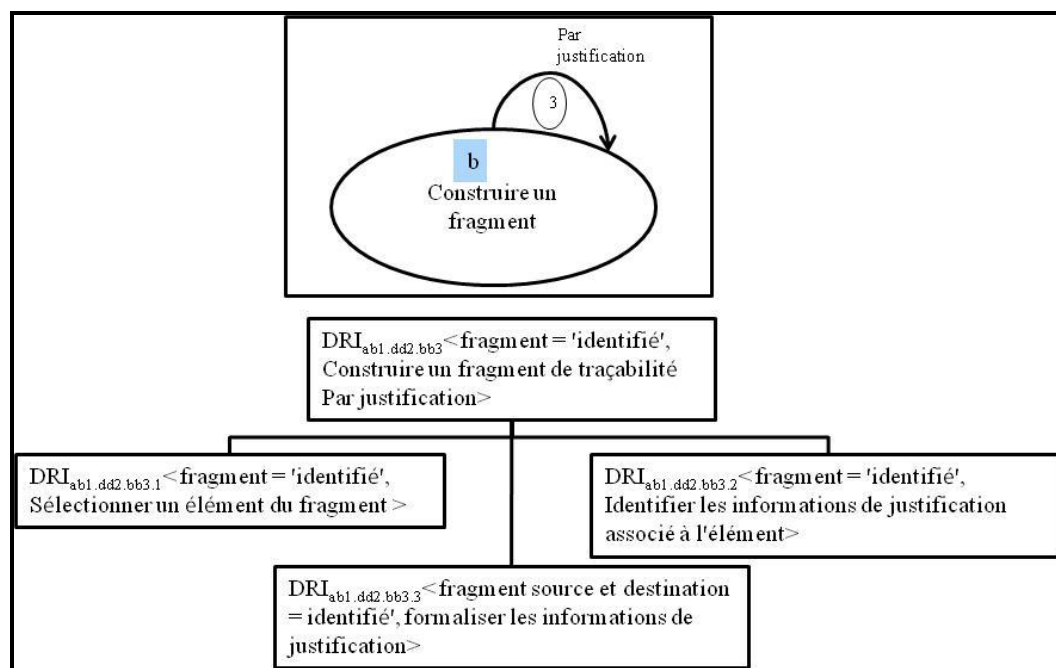


Figure 44: Directive de la description de la justification

La directive DRI_{ab1.dd2.bb3} est de type plan. Elle est réalisée en trois étapes: sélection de l'élément de traçabilité, identification des éléments de justification, formalisation de la justification.

Les sous directives proposés sont génériques en raison de la structure ouverte de l'élément Justification du méta modèle MV-TMM.

DRI_{ab1.dd2.bc1}: <élément de traçabilité = 'décrit', Construire un fragment Par spécification du type d'enregistrement >

Cette directive sélectionne et spécifie le type d'enregistrement des informations de traçabilité identifiées par application des stratégies précédentes. Elle propose un choix entre trois types: automatique, semi-automatique, manuelle. Le choix dépend du contexte projet et de la complexité des informations à tracer.

Le type d'enregistrement est une information utile dans la phase de déploiement du modèle de traçabilité. C'est l'environnement technique du projet qui détermine le choix le mieux adapté au type d'enregistrement des données ainsi que des moyens nécessaires d'implémentation.

5.2.14 Réaliser $DRI_{ab1.dd3} < \text{fragment} = \text{'identifié'}, \text{Construire un modèle de traçabilité multi vues Par association de fragments}>$

Nous avons défini les fragments comme des parties de modèle de traçabilité qui représentent les informations de traçabilité suivant un ou plusieurs points de vue. Leurs assemblage est nécessaire afin d'obtenir un modèle de traçabilité générique et représentatif d'un projet.

La directive $DRI_{ab1.dd3}$ guide la composition des fragments par création de liens de traçabilité entre les éléments des fragments (figure 45).

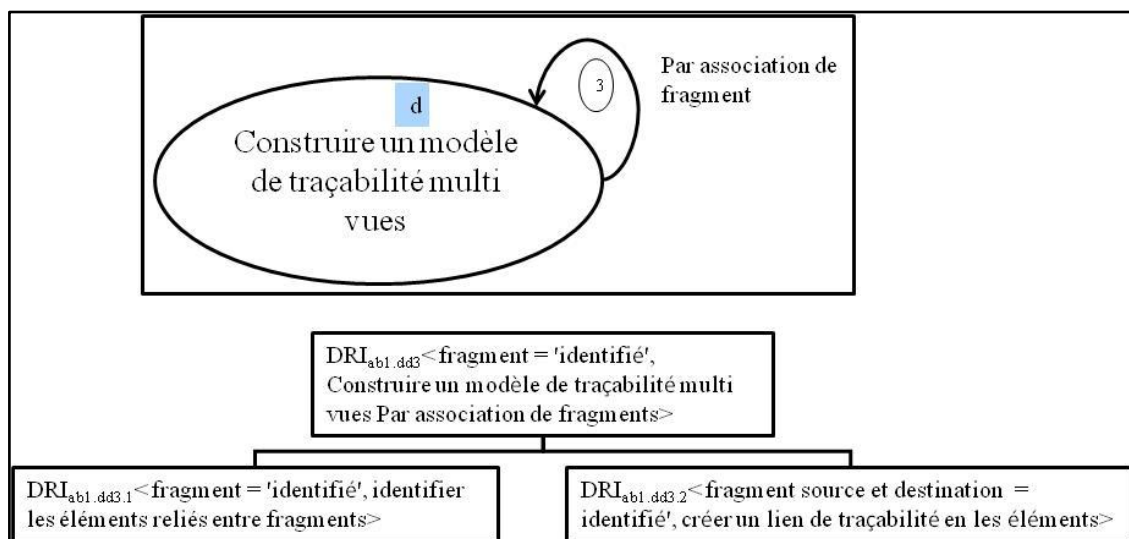


Figure 45: Directive d'association des fragments

La directive $DRI_{ab1.dd3}$ est de type plan. Elle se décompose en deux sous directives :

$DRI_{ab1.dd3.1} < \text{fragment} = \text{'identifié'}, \text{identifier les éléments reliés entre fragments}>$

Cette directive invite le concepteur d'un modèle de traçabilité à sélectionner un élément d'un fragment source. Cet élément doit avoir une relation avec un autre élément d'un autre fragment de destination à identifier également. Cette relation doit être exprimée à travers les besoins

alloués précédemment à chaque fragment via la directive $DRI_{ab1.bc1}$ ou déduite à partir du contexte de chaque projet.

$DRI_{ab1.dd3.2}$ < fragment source et destination = identifié', créer un lien de traçabilité en les éléments>

Cette directive guide la création de lien entre les deux éléments précédents. Le lien est considéré comme un lien de traçabilité car il relie deux informations de traçabilité. Cette directive propose les mêmes sous directives que celles de la $DRI_{ab1.dd2.bb1}$.

5.2.15 Réaliser $DRI_{ab1.dd4}$ < fragment = 'identifié', Construire un modèle de traçabilité multi vues Par réutilisation>

La directive $DRI_{ab1.dd4}$ propose de construire un fragment de modèle de traçabilité multi vue par réutilisation de modèles existants (figure 46). Ces derniers proviennent par exemple de retour d'expérience ou déjà appliqué dans d'autres contextes que celui du projet en cours.

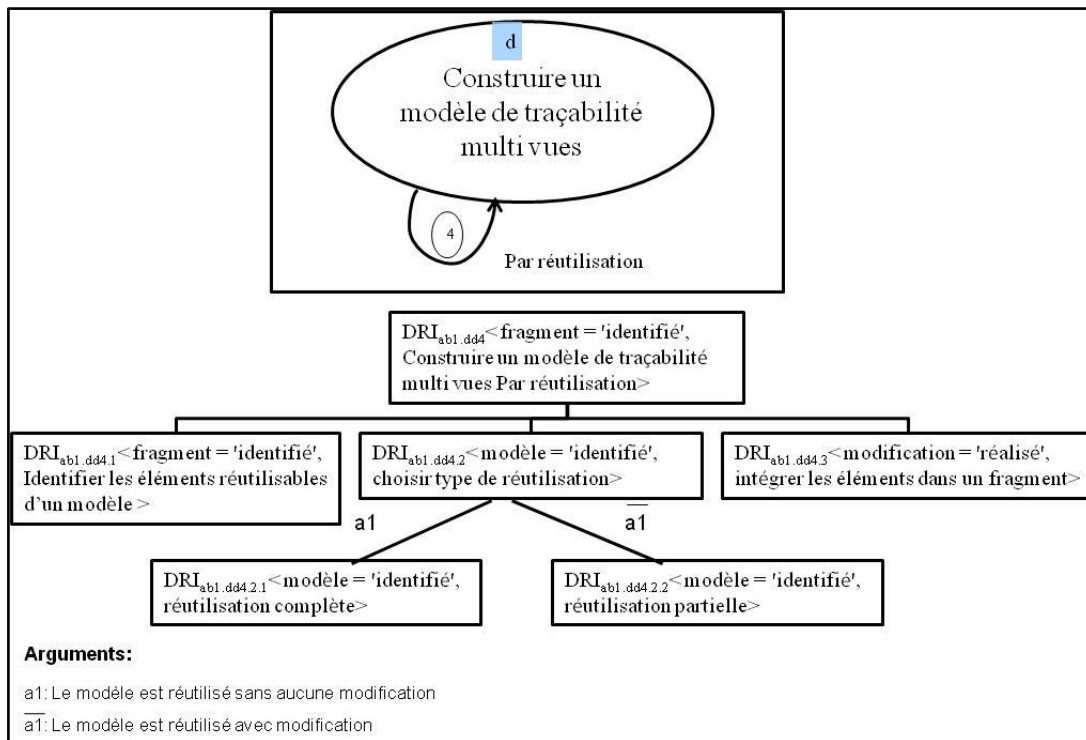


Figure 46: Directive de réutilisation

La directive $DRI_{ab1.dd4}$ est de type tactique. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{ab1.dd4.1}$ < fragment = 'identifié', Identifier les éléments réutilisables d'un modèle >

Cette directive propose de sélectionner le modèle existant que le concepteur des modèles de traçabilité souhaite réutiliser. Il doit aussi sélectionner le fragment concerné par la réutilisation. Le modèle choisi doit répondre aux besoins de traçabilité alloués au fragment.

DRI_{ab1.dd4.2} < modèle = 'identifié', choisir type de réutilisation >

Cette directive sélectionne le type de réutilisation du modèle choisi. Deux choix sont proposés: complet et partiel.

Une réutilisation complète ne modifie aucun élément du modèle existant, tandis qu'une utilisation partielle modifie le modèle existant par ajout, modification ou suppression d'éléments.

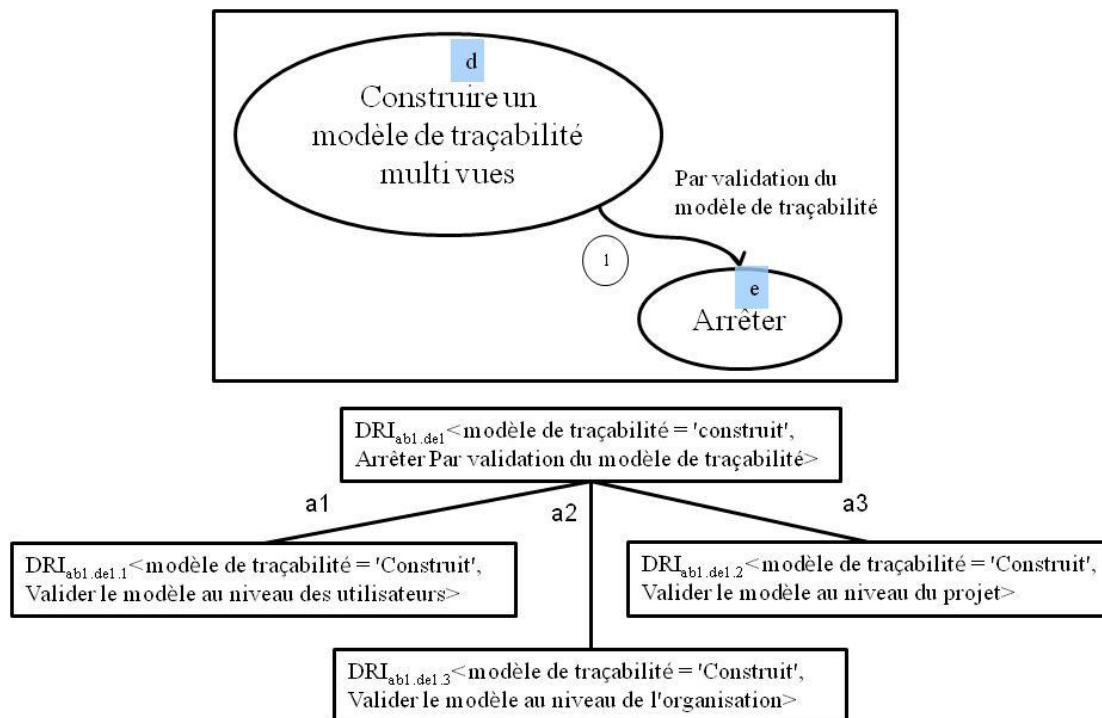
DRI_{ab1.dd4.3} < modification = 'réalisé', Intégrer les éléments dans un fragment >

Cette directive aide à intégrer le modèle obtenu par réutilisation dans le fragment concerné. Cette intégration consiste à:

- mettre en correspondance les éléments en commun entre les éléments des fragments avec les éléments du modèle réutilisé ou,
- créer des liens de traçabilité entre les éléments dépendants.

5.2.16 Réaliser DRI_{ab1.de1} < modèle de traçabilité = 'construit', Arrêter Par validation du modèle de traçabilité >

La directive DRI_{ab1.de1} propose d'arrêter la construction du modèle de traçabilité en procédant à sa validation (figure 47). Trois niveaux de validation sont proposés par cette directive: niveau utilisateur, niveau projet, niveau organisation.

**Arguments:**

a1: Le modèle de traçabilité est à valider par les utilisateurs des informations de traçabilité

a2: Le modèle de traçabilité est à valider par les responsables du projet.

a3: Le modèle de traçabilité est à valider par les responsables des entités de l'organisation (ou entreprise)

Figure 47: Directive de validation du modèle de traçabilité

La directive est de type choix. Elle se décompose en trois sous directives :

DRI_{abl.del.1} < modèle de traçabilité = 'Construit', Valider le modèle au niveau des utilisateurs >

Cette directive propose aux membres d'un projet de valider le modèle de traçabilité suivant le point de vue de chaque utilisateur. A ce niveau de validation il n'est pas nécessaire de considérer tous les éléments du modèle du projet, mais uniquement la partie qui concerne chaque utilisateur. La validation consiste à vérifier que les éléments du modèle de traçabilité représentent les besoins de chaque utilisateur.

DRI_{abl.del.2} < modèle de traçabilité = 'Construit', Valider le modèle au niveau du projet >

Cette directive suggère aux responsables d'un projet de valider le modèle de traçabilité suivant les objectifs identifiés en termes de gestion de projet. Ce niveau de validation prend en compte toutes les informations de traçabilité du projet. La validation consiste à vérifier que les éléments du modèle de traçabilité répondent aux objectifs fixés par les responsables du projet.

DRI_{ab1.de1.3} < modèle de traçabilité = 'Construit', Valider le modèle au niveau de l'organisation >

Cette directive propose aux responsables des organisations de valider le modèle de traçabilité suivant les objectifs prescrits par les entités de l'organisation. Ce niveau de validation se préoccupe des informations de traçabilité qui concernent les processus métiers de l'organisation (à condition que les processus ai été prises en compte dans le modèle de traçabilité).

5.3 Construire le modèle de traçabilité à la volée

Dans cette section nous présentons une alternative à la directive stratégique décrite dans la section précédente DRI_{ab1} qui permet aussi de construire un modèle de traçabilité. La directive DRI_{ab1} propose de guidée la conception du modèle de traçabilité en partant de rien, tandis que la directive DRI_{ab2} que nous présentons dans la présente section propose de construire des modèles de traçabilité d'une façon ad-hoc (figure 48). Cette directive est généralement appliquée par des experts du domaine de la traçabilité et en particulier dans des projets non complexes.

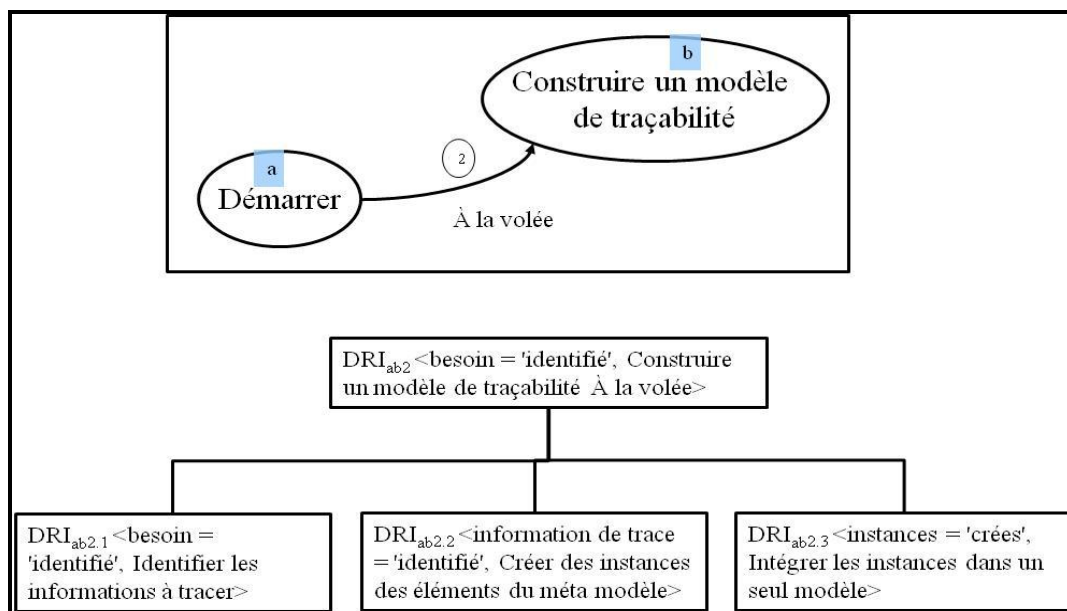


Figure 48: Directive de construction d'un modèle de traçabilité à la volée

La directive DRI_{ab2} est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives.

DRI_{ab2.1} <besoin = 'identifié', Identifier les informations à tracer>

Cette directive suppose l'existence au préalable d'un besoin de traçabilité. Elle propose d'identifier les informations de traçabilité correspondant à chaque besoin. L'utilisation des

éléments du méta modèle aide à réaliser cette tâche. Un besoin qui concerne un élément livrable du projet par exemple doit être associé à une instance de l'élément Livrable du méta modèle MV-TMM.

DRI_{ab2.2} <information de trace = 'identifié', Créer des instances des éléments du méta modèle>

Cette directive propose de créer des instances des éléments de traçabilités identifiées par application de la directive précédente. Chaque instance caractérise une information de traçabilité d'une manière unique afin de la distinguer des autres instances.

DRI_{ab2.3} <instances = 'créées', Intégrer les instances dans un seul modèle>

Une fois les instances créées, elles doivent être assemblées afin de construire un modèle de traçabilité du projet. L'intégration consiste à éliminer les informations en doublant ou en reliant les instances entre elles, etc.

5.4 Optimiser le modèle de traçabilité

La stratégie S_{bb1} propose des directives pour aider à l'optimisation des modèles de traçabilité obtenus par application des stratégies précédentes. L'optimisation consiste à évaluer le rapport coût/valeur des éléments d'un modèle de traçabilité.

Cette stratégie est très utile dans les phases de déploiement des modèles de traçabilité. Elle permet aux responsables d'un projet d'adapter le modèle de traçabilité suivant les critères de coût et de la valeur des éléments.

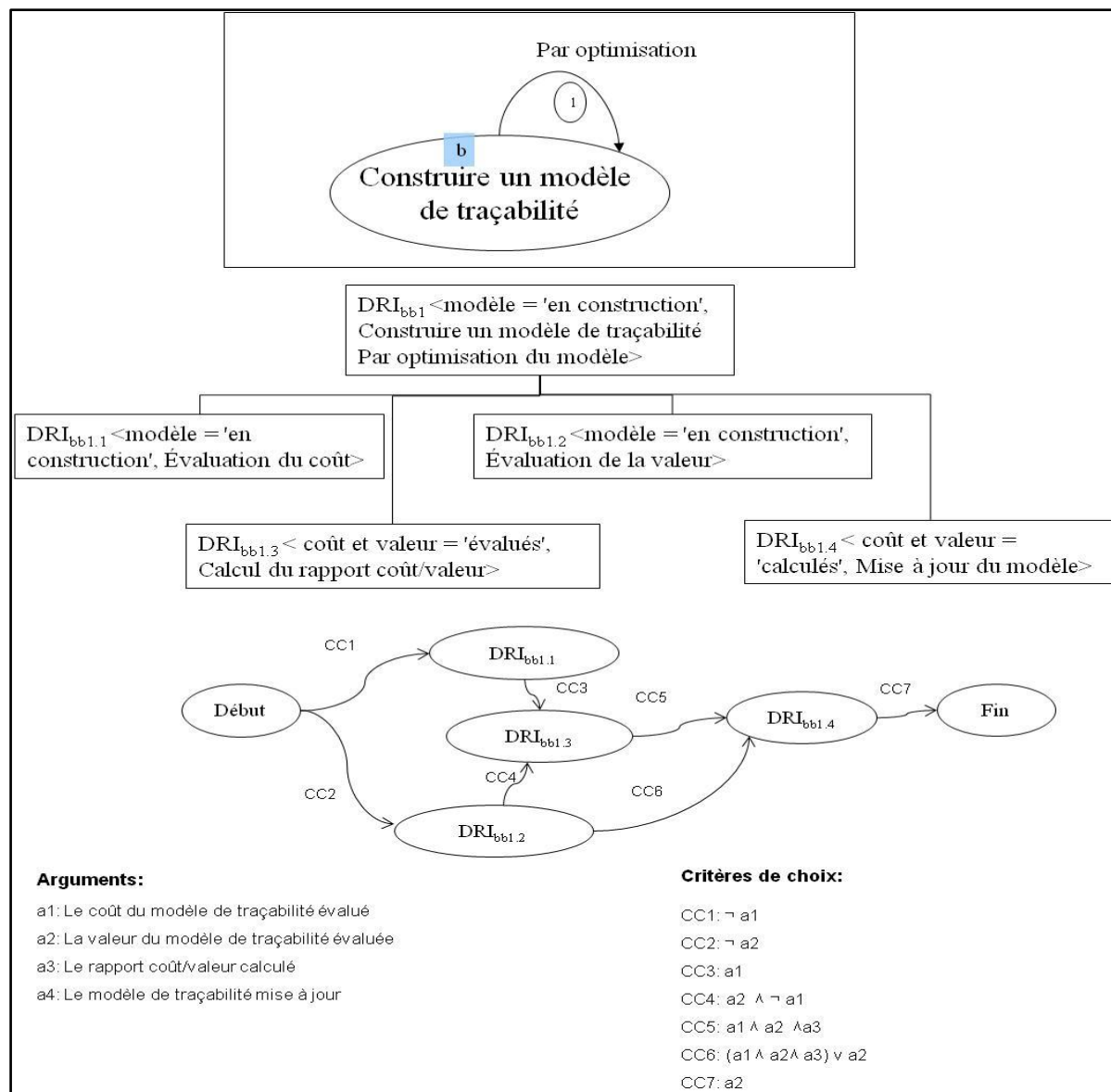


Figure 49: Directive de construction d'un modèle de traçabilité à la volée

 $\text{DRI}_{bb1.1} \langle \text{modèle} = \text{'en construction'}, \text{Évaluation du coût} \rangle$

Cette directive suggère l'évaluation du coût consiste à identifier des métriques pour l'estimation du coût des différents éléments du modèle de traçabilité construit dans les étapes précédentes. Le coût est établi par des ingénieurs spécialistes des logiciels.

 $\text{DRI}_{bb1.2} \langle \text{modèle} = \text{'en construction'}, \text{Évaluation de la valeur} \rangle$

Cette directive suggère l'évaluation de la valeur identifie des métriques pour l'estimation de la valeur des éléments du modèle de traçabilité. La valeur est établie par les utilisateurs des modèles de traçabilité.

DRI_{bb1.3} < coût et valeur = 'évalués', Calcul du rapport coût/valeur>

Le rapport coût/valeur permet de faire la correspondance entre les coûts et les valeurs des éléments des modèles de traçabilité.

DRI_{bb1.4} < coût et valeur = 'calculés', Mise à jour du modèle>

Cette directive propose de sélectionner les éléments du modèle de traçabilité qui nécessitent une adaptation par rapport aux coûts et les valeurs des éléments de traçabilité. La mise à jour consiste à supprimer, modifier ou ajouter des éléments au modèle de traçabilité.

6 Exploitation du modèle de traçabilité

En plus de la construction d'un modèle de traçabilité, la carte MV-TMM guide les membres d'un projet à exploiter le modèle construit. Elle leur donne les directives nécessaires qui leur facilite l'instanciation du modèle et l'utilisation des données de traçabilité.

Ce travail de guidage ne peut se faire sans une base de données qui se préoccupe de la gestion des informations de traçabilité. Celle-ci doit enregistrer et maintenir les données de traçabilité tout au long du projet.

La base de données de traçabilité (BDT) doit supporter également le travail collaboratif des différents membres d'un projet ainsi que la création des types de données génériques représentant chaque élément de traçabilité du méta modèle MV-TMM.

Notre approche MV-TMM utilise ce genre de BDT afin d'assurer un support logiciel des informations de traçabilité capturées. Par contre, elle préconise l'extension des BDT qui existent dans le commerce afin qu'ils puissent supporter l'ensemble des composants de la démarche MV-TMM.

Certaines directives dans ce chapitre font référence aux BDT pour montrer que leur application dépend de l'environnement logiciel du projet. En revanche, les directives sont génériques et par conséquent restent valables dans n'importe quel BDT.

Notre thèse ne développe pas le sujet des environnements logiciels en détail car il est très complexe et par conséquent nous l'avons cité parmi nos perspectives dans le chapitre de la conclusion.

6.1 Exploiter le modèle de traçabilité, par capture de la trace

La carte MV-TMM indique qu'à partir de la situation initiale où le modèle de traçabilité est construit on peut progresser en sélectionnant l'intention *Exploiter le modèle de traçabilité*. Une seule directive est proposée à cet effet : la directive $DRI_{ab1.bc1} \langle \text{modèle} = \text{'construit'}, \text{Exploiter le modèle de traçabilité Par capture de la trace} \rangle$. Elle est de type stratégique et par conséquent affinée par une sous carte comme le montre la figure 50.

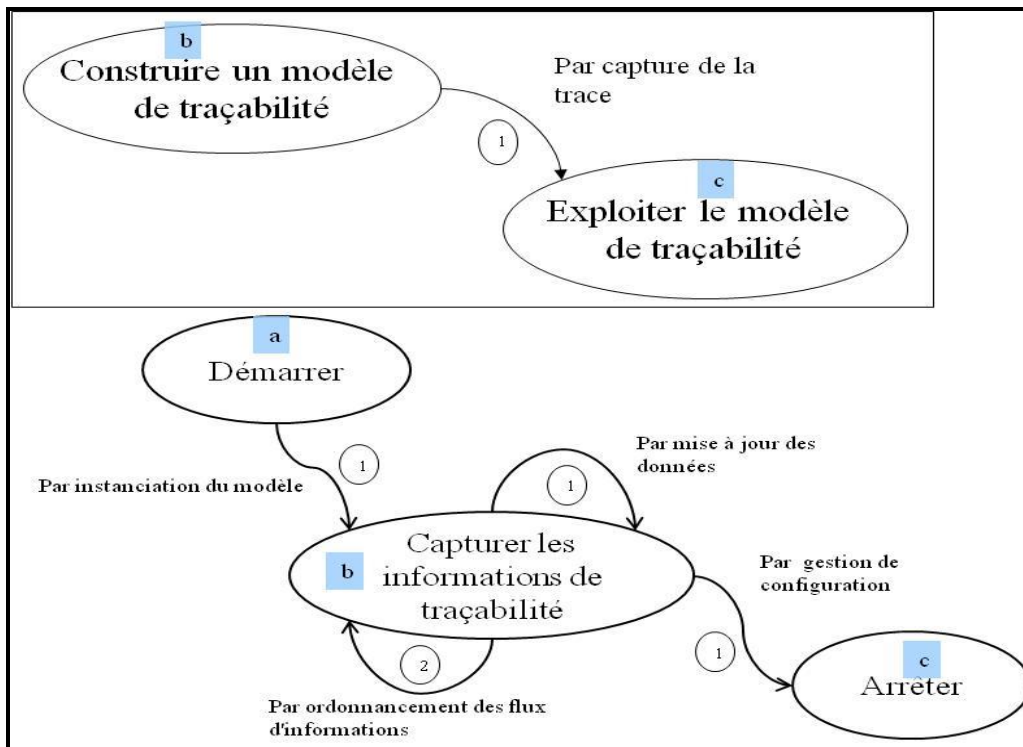


Figure 50: Modèle de carte de capture de la trace

6.1.1 Réaliser $DRI_{bc1.ab1} \langle \text{modèle} = \text{'construit'}, \text{Capturer les informations de traçabilité Par instantiation du modèle} \rangle$

Le principe d'instanciation consiste à créer des instances des éléments du modèle de traçabilité d'un projet. Les instances sont considérées comme première information de traçabilité capturée. Elles seront mises à jour tout au long du déroulement d'un projet.

La directive d'instanciation est une directive qui guide la capture les informations de traçabilité de base associés à un modèle de traçabilité, à savoir les informations sur les instances de chaque élément du modèle (figure 51). Ces informations représentent le contexte de chaque projet. Elles identifient les objets qui seront utilisés pour accueillir les données de traçabilité.

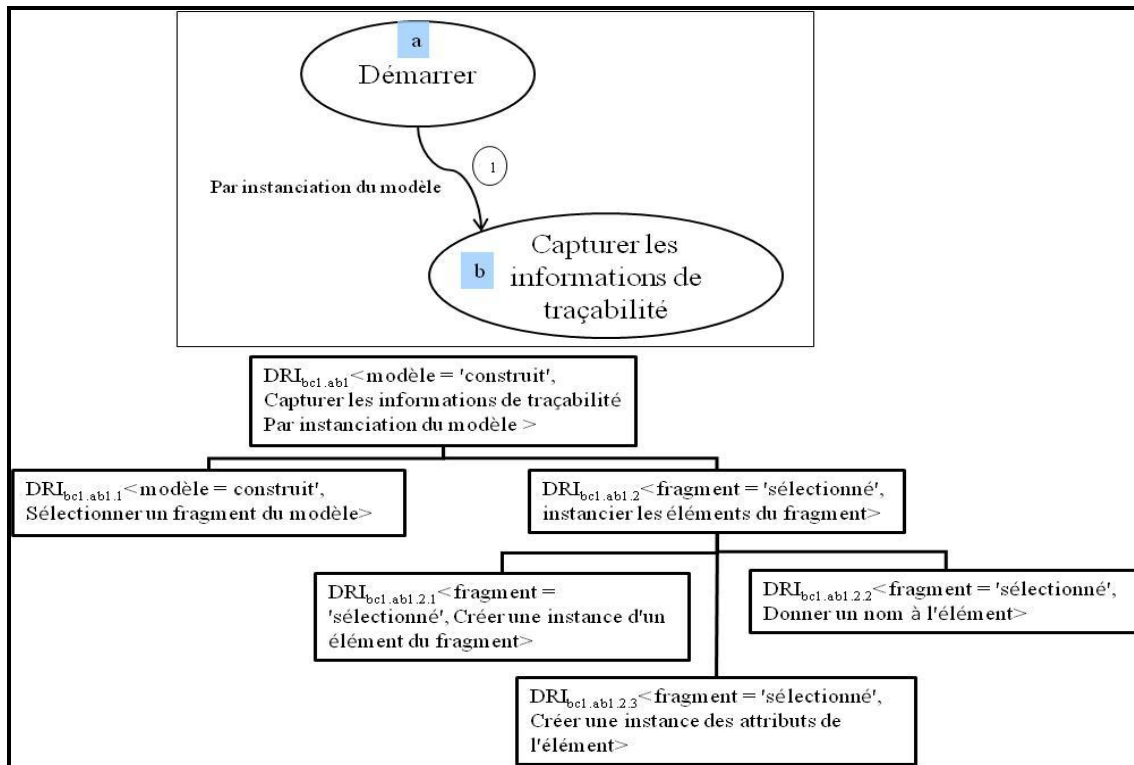


Figure 51: Directive de réalisation de l'instanciation

La directive $DRI_{bcl.abl}$ est de type plan. Elle se décompose en deux sous directives :

$DRI_{bcl.abl.1}$ < modèle = construit', Sélectionner un fragment du modèle >

Cette directive propose de sélectionner un fragment du modèle de traçabilité. L'instanciation d'un modèle est réalisée à travers l'instanciation de ces fragments.

$DRI_{bcl.abl.2}$ < fragment = 'sélectionné', instancier les éléments du fragment >

Cette directive propose d'instancier les éléments de chaque fragment sélectionné. L'instanciation consiste à créer des objets de chaque élément du fragment. Ensuite, il faut instancier les attributs de chaque élément.

L'instanciation se termine par le choix du nom du fragment.

6.1.2 Réaliser $DRI_{bcl.bb1}$ < modèle = 'instancié', Capturer les informations de traçabilité Par mise à jour des données >

Cette directive propose d'enregistrer les données de traçabilité par les trois manières identifiées précédemment au moment de la construction du modèle de traçabilité à savoir, manuelle, automatique ou semi-automatique (figure 52).

Des stratégies de déploiement doivent être conçues et implémentées à chaque type d'enregistrement.

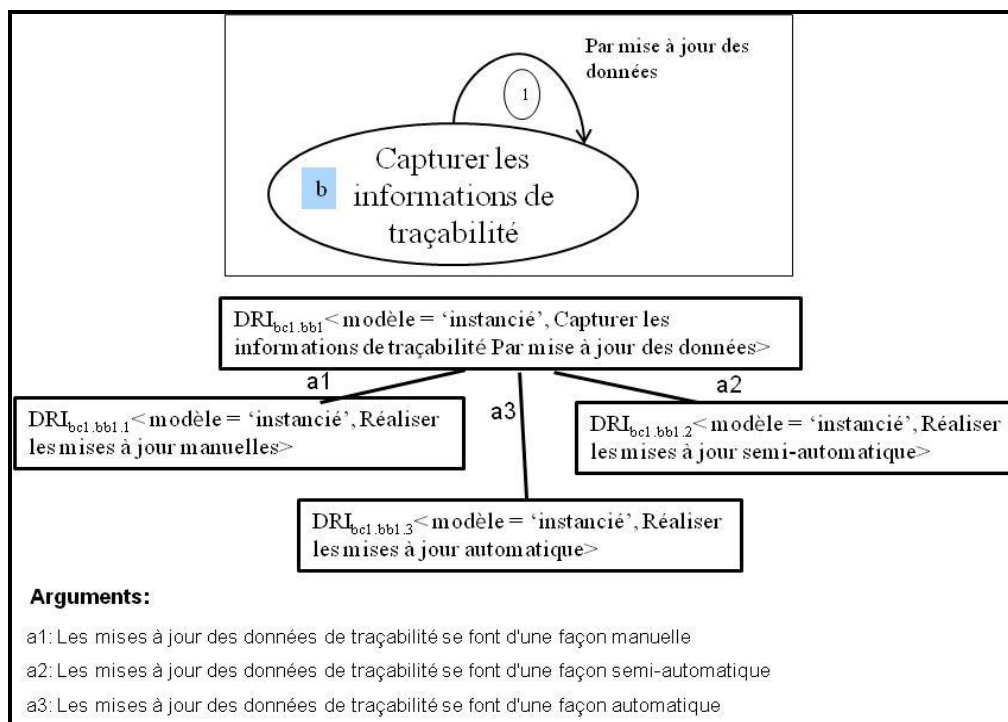


Figure 52: Directive de réalisation de la mise à jour

La directive $DRI_{bc1.bb1}$ est de type choix. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{bc1.bb1.1} < \text{modèle} = \text{'instancié'}, \text{Réaliser les mises à jour manuelles} >$

Cette directive propose de réaliser une mise à jour manuelle qui consiste à faire des saisies manuelles des données de traçabilité dans la base qui gère les données de traçabilité.

$DRI_{bc1.bb1.2} < \text{modèle} = \text{'instancié'}, \text{Réaliser les mises à jour semi-automatique} >$

Les mises à jour semi-automatiques consistent à réaliser des interactions entre un utilisateur avec la base qui gère les données de traçabilité dans le but de capturer les informations de traçabilité.

$DRI_{bc1.bb1.3} < \text{modèle} = \text{'instancié'}, \text{Réaliser les mises à jour automatique} >$

Les mises à jour automatiques se font par interaction directe de la base de données de traçabilité avec les outils utilisés dans un projet. Ce type d'interaction ne nécessite pas d'intervention des utilisateurs. De plus, cette directive doit réutiliser les résultats de directive DRI_{b2} .

6.1.3 Réaliser $DRI_{bc1.bb2} < \text{modèle} = \text{'instancié'}, \text{Capturer les informations de traçabilité Par ordonnancement des flux d'informations}>$

Cette directive guide la gestion des flux de données produites ou utilisées lors du déroulement des activités dans un projet (figure 53). En adoptant notre démarche MV-TMM les données de traçabilité transitent à travers la base de données de traçabilité (BDT) et circule dans des flux d'interaction entre les outils utilisés dans un projet. Par conséquent, elles doivent être gérées suivant un scénario prédéfini.

Nous rappelons que les outils sont des supports logiciels censés mettre à jour d'une façon automatique ou semi automatique les instances d'un modèle de traçabilité. Ainsi, la communication entre les outils se fait à travers la base de données de traçabilité (BDT).

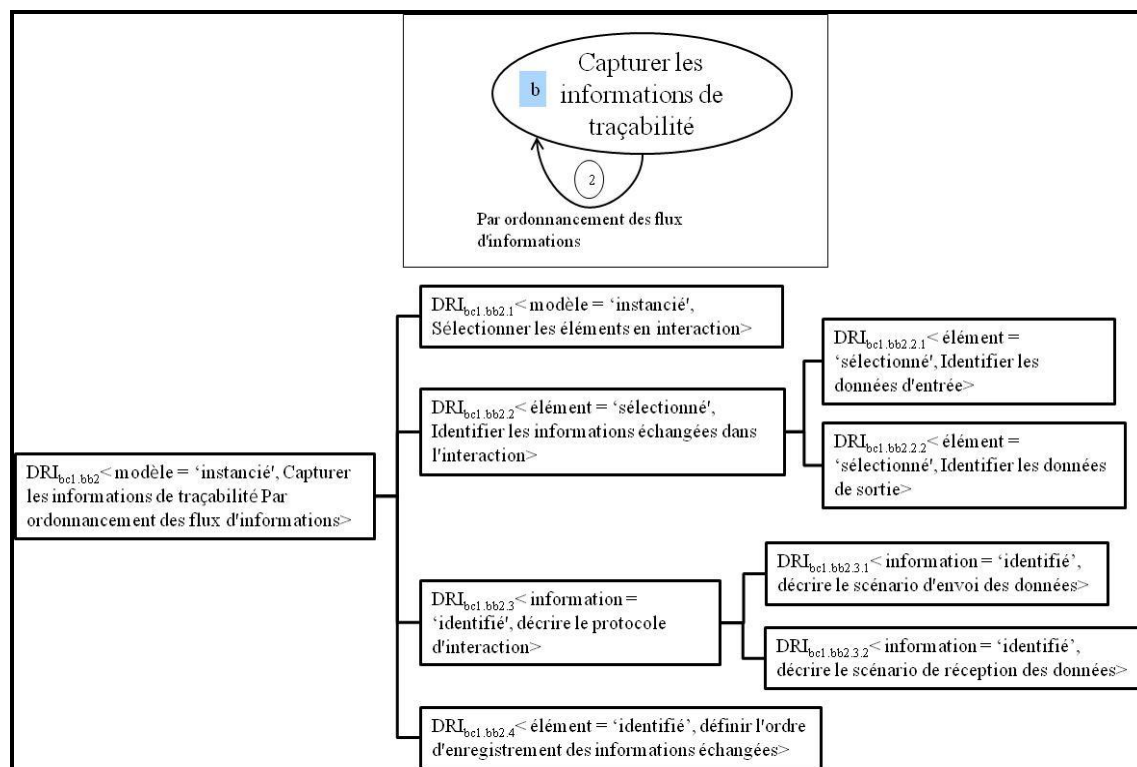


Figure 53: Directive de réalisation de l'interaction

La directive $DRI_{bc1.bb2}$ est de type plan. Elle se décompose en quatre sous directives :

$DRI_{bc1.bb2.1} < \text{modèle} = \text{'instancié'}, \text{Sélectionner les éléments en interaction}>$

Cette directive propose de sélectionner les éléments du modèle de traçabilité qui seront mis à jour à travers une interaction avec un outil de l'environnement logiciel du projet.

$DRI_{bc1.bb2.2} < \text{élément} = \text{'sélectionné'}, \text{Identifier les informations échangées dans l'interaction}>$

Cette directive propose d'identifier les informations échangées entre les deux éléments sélectionnés précédemment. Ces informations représentent des données d'entrée et des données de sortie par rapport à chaque élément.

$DRI_{bc1.bb2.3}$ < information = 'identifié', Décrire le protocole d'interaction >

Cette directive se préoccupe de la description du scénario d'interaction entre les deux éléments sélectionnés. La directive se décompose en deux sous directives: la première $DRI_{bc1.bb2.3.1}$ se préoccupe de la description du scénario d'envoi des données alors que la deuxième $DRI_{bc1.bb2.3.2}$ de celui de la réception. Les utilisateurs des données de traçabilité sont libre de choisir le langage de description des scénarios le mieux adapté à leur situation.

$DRI_{bc1.bb2.4}$ < élément = 'identifié', Définir l'ordre d'enregistrement des informations échangées >

Cette directive propose aux concepteurs de spécifier l'ordre d'enregistrement des informations. L'aspect implémentation de l'enregistrement dépend du type de la base de données de traçabilité choisi dans un projet ainsi que de la technologie à appliquer.

6.1.4 Réaliser $DRI_{bc1.bc1}$ < modèle = 'instancié', Capturer les informations de traçabilité Par gestion de configuration >

La gestion de configuration est une forme de traçabilité souvent appliquée dans le domaine d'ingénierie logiciel. Elle permet de capturer les données liées à l'évolution des informations y compris le contrôle de la cohérence et du statut des versions. Nous appliquons les concepts de gestion de configuration pour tracer l'évolution des données de traçabilité à travers la directive $DRI_{bc1.bc1}$ (figure 54).

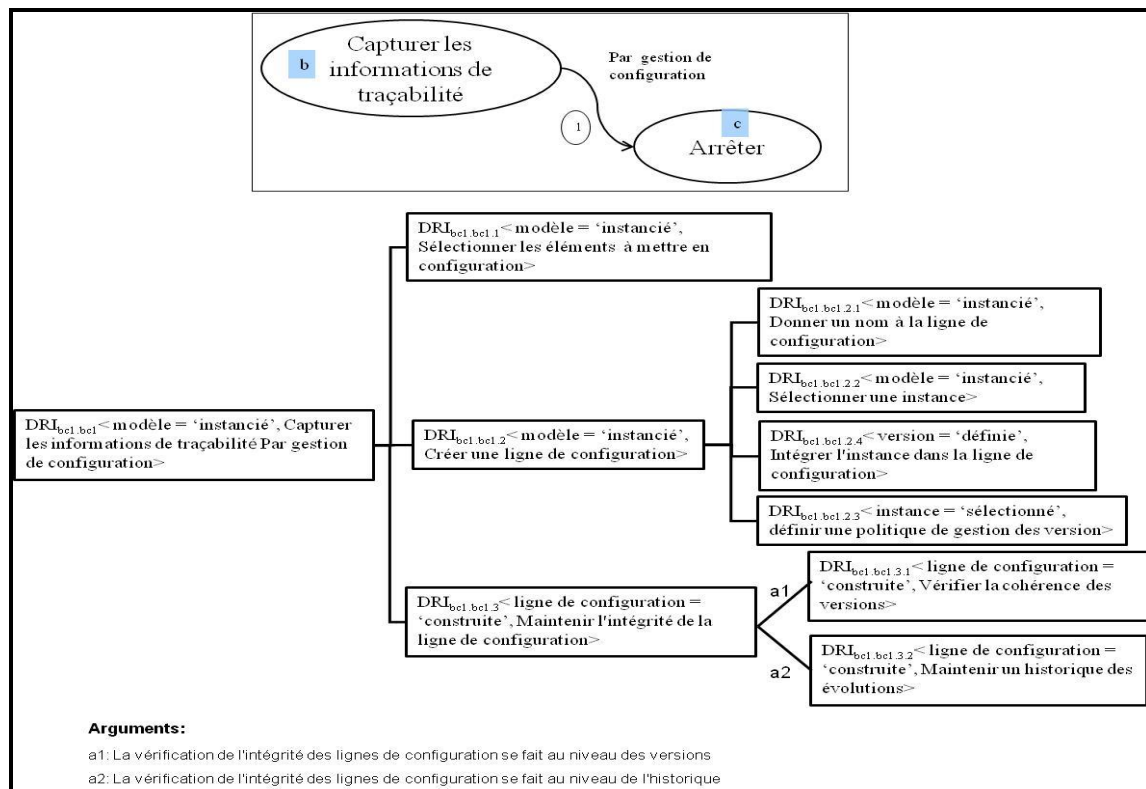


Figure 54: Directive de réalisation de la configuration

La directive $DRI_{bcl.bcl}$ est de type tactique. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{bcl.bcl.1}$ < modèle = 'instancié', Sélectionner les éléments à mettre en configuration >

Cette directive propose de sélectionner les éléments du modèle de traçabilité qui nécessitent une gestion de configuration, c'est-à-dire qui sont susceptibles d'évoluer dans le temps. La gestion de configuration peut concerner un ou plusieurs éléments de traçabilité.

$DRI_{bcl.bcl.2}$ < modèle = 'instancié', Créer une ligne de configuration >

Cette directive propose de créer un regroupement des éléments à mettre en configuration. Ce dernier est considéré comme une ligne de configuration. L'évolution sera organisée suivant chaque groupe.

La création de cette ligne se fait en plusieurs étapes:

- donner un nom à la ligne de configuration
- sélectionner les instances du modèle de traçabilité qui composent la ligne
- définir une politique de gestion des versions de la ligne

DRI_{bc1.bc1.3} < ligne de configuration = 'construite', Maintenir l'intégrité de la ligne de configuration >

Le maintien des lignes de configuration consiste à vérifier la cohérence des versions ainsi que la gestion de l'historique des données.

La figure 51 montre un exemple ligne de configuration conçu autour de l'élément "Entité type" du livrable E/R de la figure précédente (figure 55). Les flèches représentent des liens de traçabilité entre une "Entité Type" qui doit satisfaire une exigence d'un client. La flèche en pointillé représente l'historique des liens de traçabilité.

Dans cette exemple la ligne de configuration est composée de l'élément "Entité Type", des exigences du système en développement et des liens de traçabilité "satisfait" et "évolue vers".

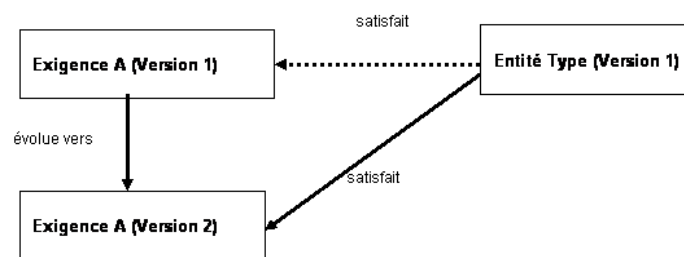


Figure 55: Exemple de ligne de configuration

6.2 Exploiter le modèle de traçabilité par réutilisation

La directive DRI_{ab2} propose une alternative à l'exploitation des informations de traçabilité sans avoir à construire un modèle de traçabilité en partant directement de l'intention Démarrer. En effet, dans le cas où le modèle de traçabilité existe et les responsables d'un projet souhaite réutiliser tout ou partie de ce modèle, la directive DRI_{ab2} leurs proposent deux manières de réutilisation : complète ou partielle (figure 56).

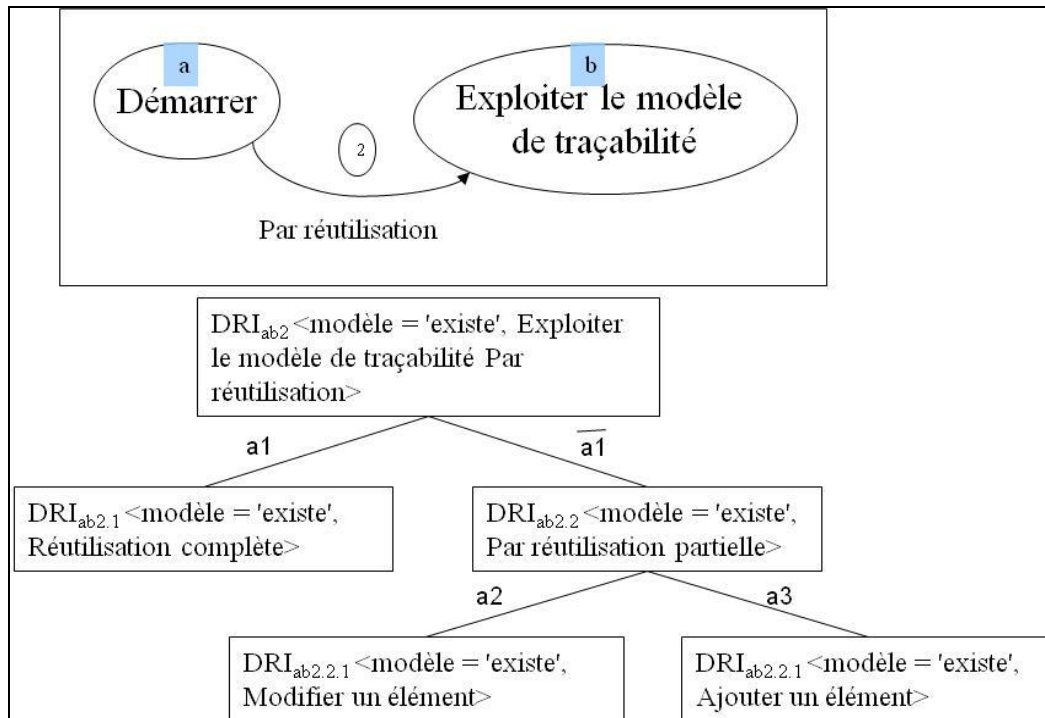


Figure 56: Directive de réalisation de la réutilisation

La directive DRI_{ab2} est alors de type choix. Elle se décompose en deux sous directives :

$DRI_{ab2.1}$ <modèle = 'existe', Réutilisation complète>

Cette directive est similaire à la directive $DRI_{ab1.cc4.2.1}$.

$DRI_{ab2.2}$ <modèle = 'existe', Par réutilisation partielle>

Cette directive est similaire à la directive $DRI_{ab1.cc4.2.2}$.

6.3 Exploiter le modèle de traçabilité par structuration de la trace

La directive DRI_{cc1} propose aux utilisateurs des informations de traçabilité de procéder à une organisation des données afin de faciliter leurs exploitations (figure 57). La structuration est une sorte de classification des données suivant le type d'utilisation envisagée. Elle permet de mieux retrouver les données de traçabilité en cas de besoin.

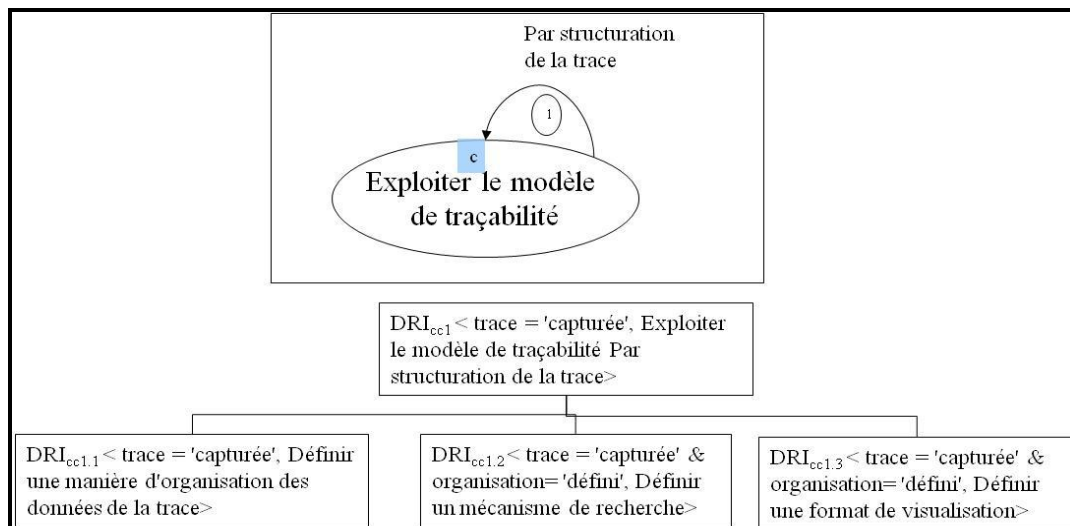


Figure 57: Directive de réalisation de la structuration

La directive DRI_{cc1} est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{cc1.1} < \text{trace} = \text{'capturée'}, \text{ Définir une manière d'organisation des données de la trace} >$

Cette directive suggère aux utilisateurs des informations de traçabilité de définir les différentes manières possibles qui permettent d'exploiter les données de traçabilité capturées. Il s'agit ici de clarifier le type de leur usage suivant les utilisateurs.

$DRI_{cc1.2} < \text{trace} = \text{'capturée'} \ \& \ \text{organisation} = \text{'défini'}, \text{ Définir un mécanisme de recherche} >$

Cette directive propose d'utiliser un mécanisme d'interrogation pour permettre une recherche pertinente dans un volume important de données. Les mécanismes de recherche doivent prendre en compte la recherche suivant les six éléments de traçabilités du méta modèle MV-TMM afin de réaliser l'ensemble des requêtes possibles.

La directive est réalisable en quatre étapes :

- *Identifier l'objectif de la recherche* : cette étape propose d'identifier l'objectif de la recherche que les membres d'un projet envisagent de réaliser sur les données capturées.
- *Décrire le structure du résultat attendu* : cette étape propose de décrire la structure du résultat attendu par la recherche. Elle inclut également la sélection des éléments de trace à utiliser dans la recherche.

- *Définir la requête de recherche des informations* : Cette étape propose de formaliser les objectifs et les résultats par des requêtes que l'on peut implémenter dans un langage d'interrogation de base de données.
- *Implémenter la requête* : Cette étape propose l'implémentation de la requête suivant l'environnement logiciel qui supporte la base de gestion de la traçabilité.

DRI_{cc1.3} < trace = 'capturée' & organisation= 'défini', Définir un format de visualisation>

Cette directive propose de structurer l'aspect présentation des données de traçabilité afin que chaque type d'usage soit identifié facilement. La figure 58 montre un exemple de format de matrice pouvant être utilisé pour la représentation des liens de traçabilité entre des buts et des exigences.

<i>'affiné par'</i>	Exigence_1	Exigence_2	Exigence_3	Exigence_4
But_1	✓		✓	
But_2		✓	✓	✓
But_3	✓	✓		
But_4		✓		

Figure 58: Directive de réalisation de la structuration

6.4 Exploiter le modèle de traçabilité par analyse de la trace

La directive DRI_{cc2.1} guide les utilisateurs des informations de traçabilité à mieux analyser les données de traçabilité (figure 59). En effet, d'après notre expérience et dans la plupart des situations dans les entreprises les membres d'un projet n'ont pas les moyens et les modèles qui les aident à analyser les données de traçabilité. Par conséquent, ils n'utilisent pas efficacement les données capturées.

La directive DRI_{cc2.1} leurs facilitent ce travail en proposant des directives adaptées à chaque situation d'usage des informations de traçabilité.

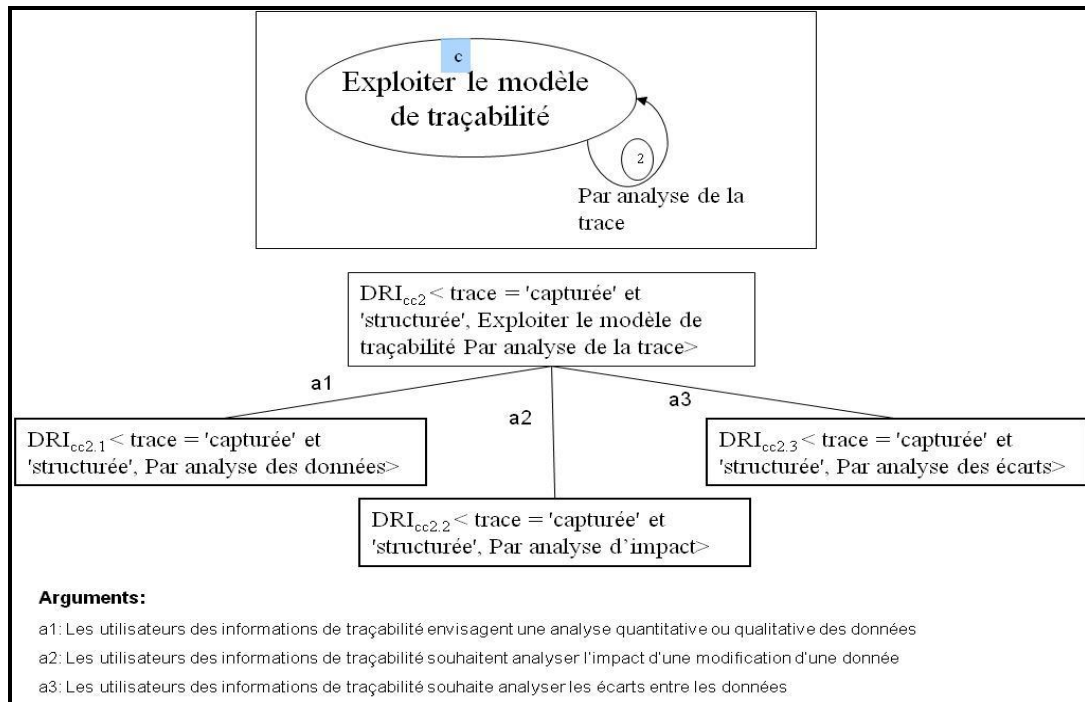


Figure 59: Directive de réalisation de l'analyse de la trace

La directive DRI_{cc2.1} est de type choix. Elle se décompose en trois sous directives :

DRI_{cc2.1} < information= 'capturée' & 'structurée', Exploiter les informations de traçabilité Par analyse des données >

Cette directive (figure 60) propose aux responsables des projets des directives de guidage pour l'établissement des indicateurs sur les données de traçabilité (liens, attributs, livrables, etc.). Les indicateurs sont très sollicités dans les projets et sont considérés comme des moyens de contrôle de la progression du développement.

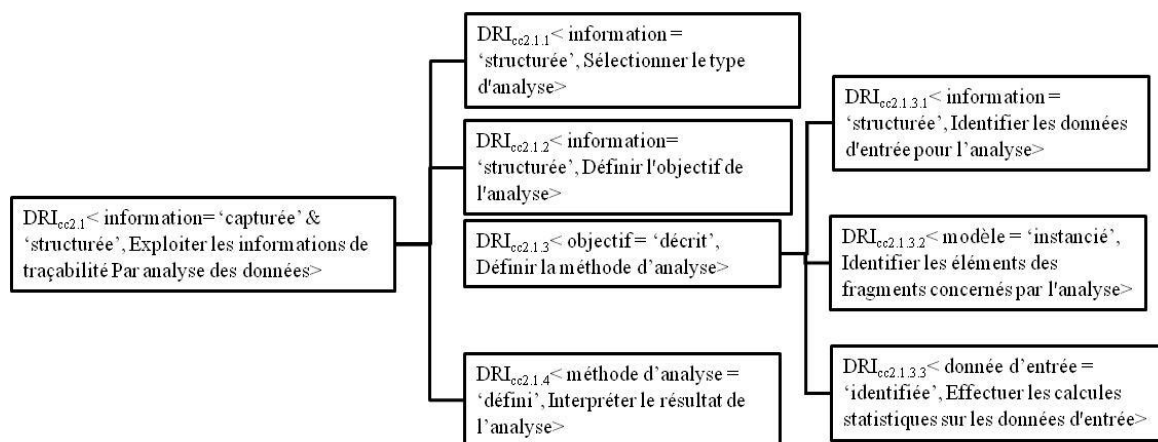


Figure 60: Directive de réalisation de l'analyse des données

La directive $DRI_{cc2.1}$ est de type plan. Elle se décompose en quatre sous directives :

$DRI_{cc2.1.1} < information = 'structurée', Sélectionner le type d'analyse >$: Cette directive sélectionne le type d'analyse à effectuer sur les données de traçabilité capturées. Il s'agit d'un choix entre deux analyses: une analyse qualitative ou quantitative.

L'analyse qualitative consiste à l'établissement d'indicateurs qui mesurent la qualité du processus d'ingénierie appliqué dans le projet par exploitation des informations de traçabilité. Cette analyse aide également à la gestion des performances des livrables d'un projet.

L'analyse quantitative consiste à réaliser des indicateurs sur la quantité des informations de traçabilité capturées. Cela permet aux responsables d'un projet un suivi de l'évolution de la conception et du développement de leurs systèmes.

$DRI_{cc2.1.2} < information = 'structurée', Définir l'objectif de l'analyse >$: Cette directive propose aux utilisateurs de décrire une liste d'objectifs que chacun essaie de les satisfaire en se basant les informations de traçabilité. Visualiser l'état d'avancement des exigences est un exemple d'objectif.

$DRI_{cc2.1.3} < objectif = 'décrit', Définir la méthode d'analyse >$: Cette directive propose d'identifier les éléments du modèle de traçabilité qui aident à satisfaire l'objectif de l'utilisateur. Ensuite, l'utilisateur doit définir une méthode de calcul lui permettant de répondre à la requête qui se préoccupe de rechercher les données dans la base de données qui stocke les informations de traçabilité.

$DRI_{cc2.1.4} < méthode = 'défini', Interpréter les résultats de l'analyse >$: Cette directive propose aux utilisateurs de donner une interprétation des résultats obtenus à partir de l'analyse réalisée.

$DRI_{cc2.2} < trace = 'capturée' et 'structurée', Par analyse d'impact >$

L'analyse d'impact consiste à étudier l'impact d'une modification ou un changement d'une information de traçabilité sur les autres informations. La modification peut s'agir d'une mise à jour d'une instance de n'importe quel élément de traçabilité.

La directive $DRI_{cc2.2}$ guide les utilisateurs des informations de traçabilité afin qu'ils puissent gérer les impacts de chaque changement dans leurs projets (figure 61).

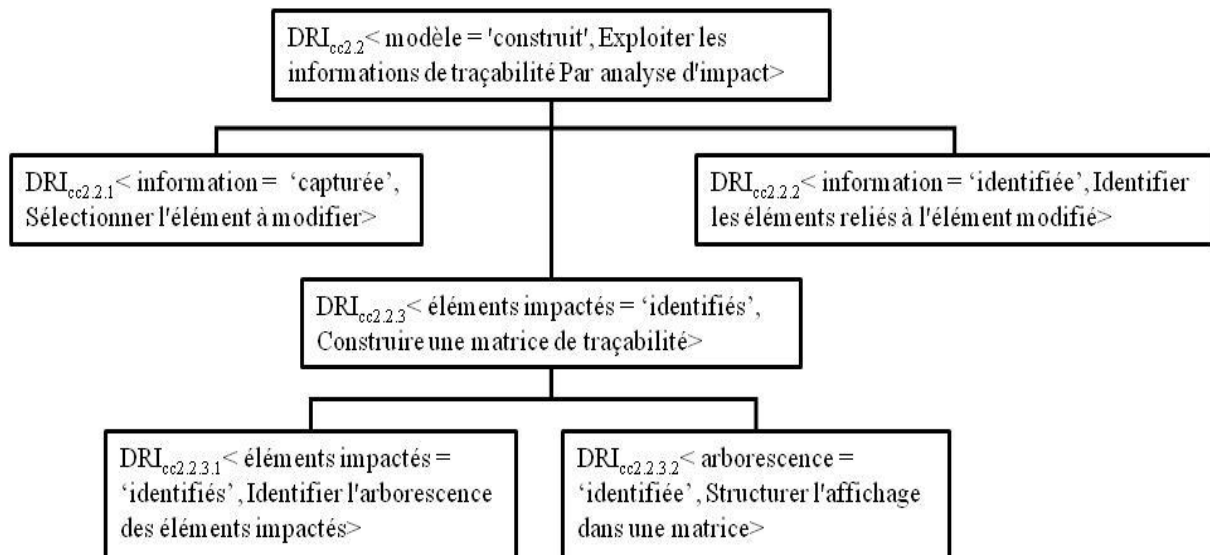


Figure 61: Directive de réalisation de l'analyse d'impact

La directive $DRI_{cc2.2}$ est de type plan. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{cc2.2.1}$ < information = 'capturée', Sélectionner l'élément à modifier > : Cette directive propose de sélectionner l'élément mise à jour à travers la modification.

$DRI_{cc2.2.2}$ < information = 'identifiée', Identifier les éléments reliés à l'élément modifié > : Cette directive propose d'identifier les éléments de traçabilité reliés à l'élément modifié. Cela permet de connaître les éléments susceptibles d'être impactés.

$DRI_{cc2.2.3}$ < éléments impactés = 'identifiés', Construire une matrice de traçabilité > : Cette directive se préoccupe de la construction d'une matrice de traçabilité qui regroupe l'élément modifié avec les autres éléments impactés. La matrice représente l'arborescence des éléments reliés suivant plusieurs formats (arbre, tableau, matrice, etc.).

$DRI_{cc2.3}$ < trace = 'capturée' et 'structurée', Par analyse des écarts >

L'analyse des écarts consiste à identifier les éventuelles incohérences entre les informations de traçabilité capturées par comparaison des versions par exemple. La comparaison peut s'étendre vers les liens de traçabilité (figure 62). Par exemple une analyse d'écart des liens entre les exigences système et la spécification logicielle permet de connaître les exigences système non encore satisfaites.

La directive $DRI_{cc2.3}$ guide les utilisateurs des informations de traçabilité à établir des comparaisons entre les différents types d'informations.

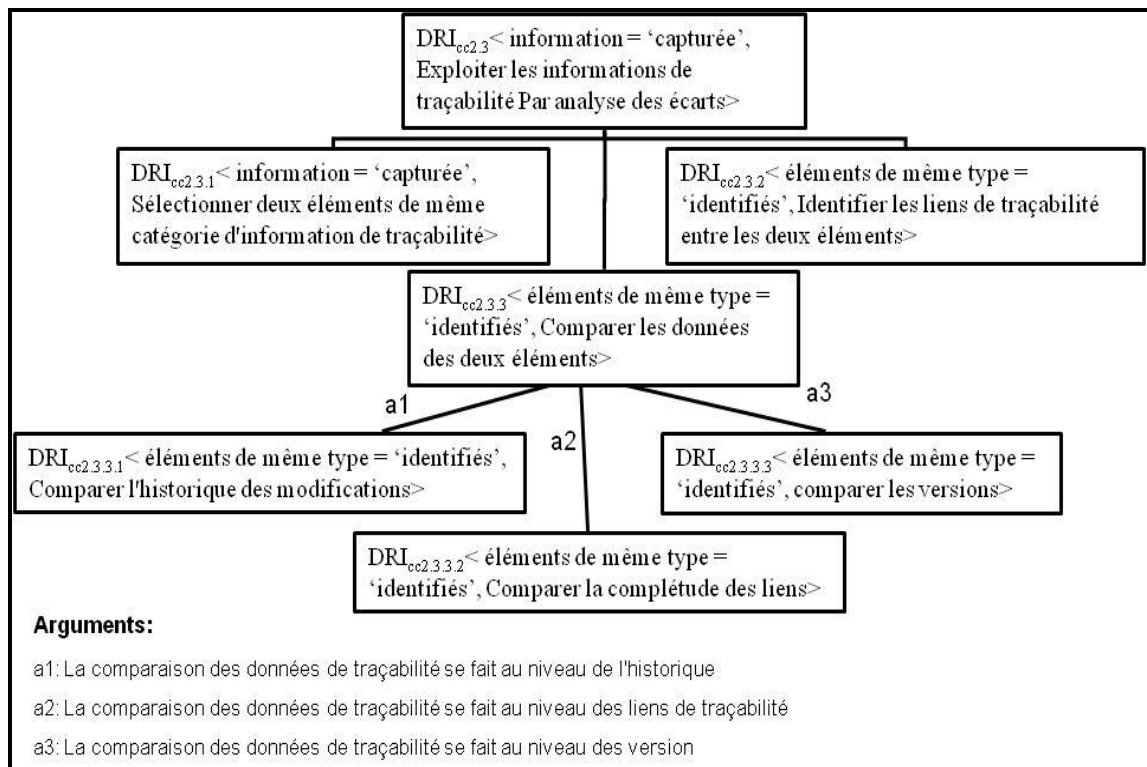


Figure 62: Directive de réalisation de l'analyse d'écart

La directive $DRI_{cc2.3}$ est de type tactique. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{cc2.3.1}$ < information = 'capturée', Sélectionner deux éléments de même catégorie d'information de traçabilité> : Cette directive suggère la sélection de deux éléments du modèle de traçabilité appartenant à la même catégorie d'information de traçabilité du méta modèle MV-TMM, c'est-à-dire soit des Livrables, des Liens, ou des Justifications, etc.

$DRI_{cc2.3.2}$ < éléments de même type = 'identifiés', Identifier les liens de traçabilité entre les deux éléments> : Dans le cas où les éléments ne sont pas des liens de traçabilité cette directive propose d'identifier les liens entre les deux éléments.

$DRI_{cc2.3.3}$ < éléments de même type = 'identifiés', Comparer les données des deux éléments> : Cette directive propose de comparer les éléments sélectionnés afin d'identifier les écarts entre les deux. La directive propose trois types de comparaisons: à travers l'historique, à travers les versions et à travers la complétude des liens de traçabilité.

6.5 Construire un modèle de traçabilité par mise à jour

La directive DRI_{cb1} est une autre alternative qui vise à atteindre l'intention Construire un modèle de traçabilité par la réalisation de mise à jour à partir de l'intention Exploiter le modèle de traçabilité (figure 63). La directive est utilisée dans les situations où le modèle de traçabilité est déjà construit ou en cours d'usage. Elle permet d'intégrer certaines modifications au modèle qui sont constatés au cours de son usage.

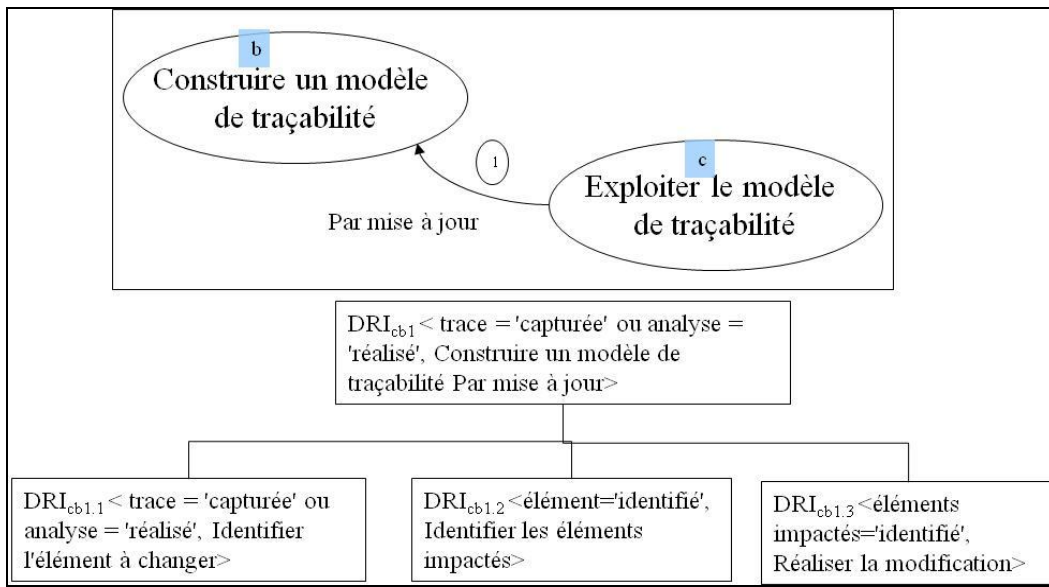


Figure 63: Directive de réalisation de la construction du modèle de traçabilité par mise à jour

La directive DRI_{cb1} est alors de type choix. Elle se décompose en trois sous directives :

$DRI_{cb1.1}$ < trace = 'capturée' ou analyse = 'réalisé', Identifier l'élément à changer >

Cette directive propose d'identifier l'élément du modèle de traçabilité qui nécessite une modification. Il peut s'agir d'une modification qui a été relevée par exemple lors de l'analyse ou de la structuration des informations de traçabilité.

$DRI_{cb1.2}$ < élément='identifié', Identifier les éléments impactés >

Après l'identification de l'élément à modifier, il est nécessaire de procéder à une recherche des éléments du même modèle qui sont susceptibles d'être impacté après le changement.

$DRI_{cb1.3}$ < éléments impactés='identifié', Réaliser la modification >

Cette directive propose de réaliser la modification sur l'élément identifié et également sur les autres éléments impactés. Elle consiste à ajouter, supprimer ou adapter des éléments du modèle de traçabilité.

7 Arrêter le processus de la carte MV-TMM

7.1.1 Réaliser DRI_{b5} « Arrêter Par analyse de la valeur »

Cette directive propose aux responsables de projet de procéder à une rétrospection des différents stratégies d'usage des informations de traçabilité en termes de valeur ajoutée (figure 64). Cette analyse détermine le rôle joué par la traçabilité dans le projet et permet de cibler les éventuels problèmes qui nécessitent une amélioration dans le futur.

La directive propose des critères d'analyse de la valeur en terme de taux d'avancement du projet, d'exactitude des informations, d'optimisation du temps de recherche de données et sur l'efficacité des informations capturées.

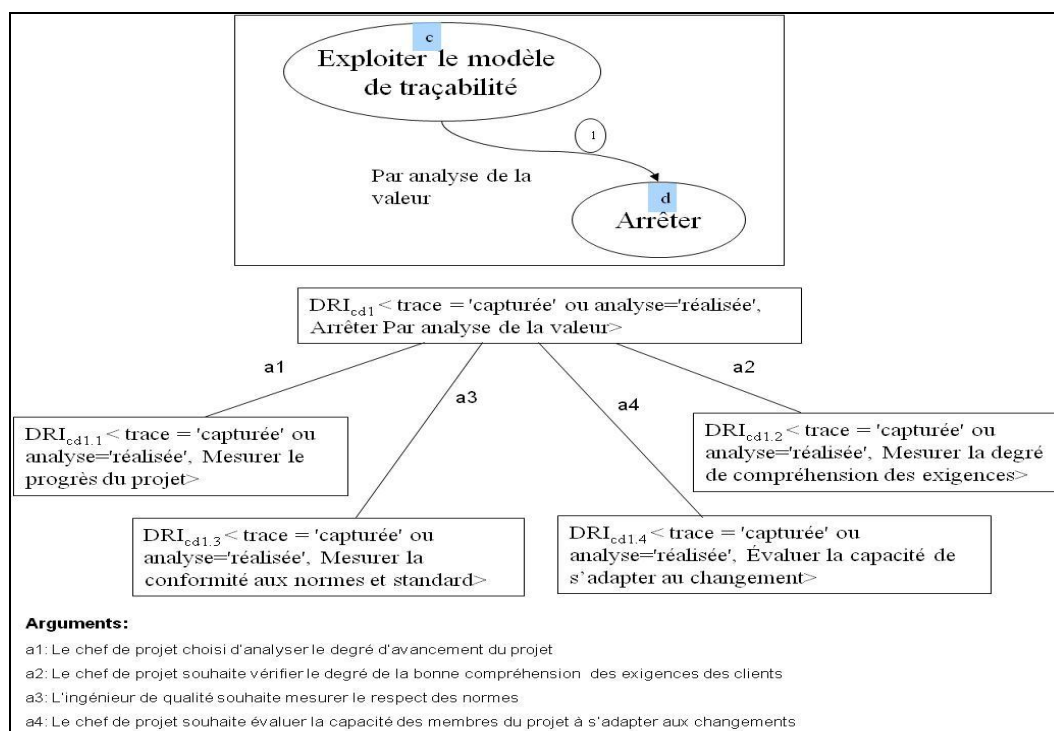


Figure 64: Directive de réalisation de l'analyse de la valeur

La directive DRI_{b5} est de type choix. Elle se décompose en quatre sous directives :

DRI_{cd1.1} < trace = 'capturée' ou analyse='réalisée', Mesurer le progrès du projet >

Cette directive propose d'analyser la valeur ajoutée des informations de traçabilité dans un projet en termes d'avancement du projet. La facilité de communication entre les acteurs ainsi que la diminution du risque d'échec des exigences sont des exemples de moyens de mesures de la progression des activités du projet.

DRI_{cd1.2} < trace = 'capturée' ou analyse='réalisée', Mesurer le degré de compréhension des exigences>

Cette directive propose d'analyser la valeur ajoutée des informations de traçabilité dans un projet en termes de degré de compréhension des exigences. L'implémentation correcte des exigences, la compréhension du besoin client et la compréhension des fonctions système sont des exemples de moyens de mesures de ce degré.

DRI_{cd1.3} < trace = 'capturée' ou analyse='réalisée', Mesurer la conformité aux normes et standard>

Cette directive propose d'analyser la valeur ajoutée des informations de traçabilité dans un projet en termes de conformité des procédures et livrables du projet vis-à-vis des normes et standard applicables. La complétude des standards, le respect des normes sont des exemples de moyens de mesures de cette conformité.

DRI_{cd1.4} < trace = 'capturée' ou analyse='réalisée', Évaluer la capacité de s'adapter au changement>

Cette directive propose d'analyser la valeur ajoutée des informations de traçabilité dans un projet en termes d'adaptation des membres du projet aux situations de changements. La diminution du coût de maintenance du système ainsi que la rapidité de l'analyse d'impact sont des exemples de moyens de mesures de cette capacité.

8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détail l'ensemble des stratégies et directives associées à la carte MV - TMM.

L'utilisation du méta modèle de Carte comme méta modèle de processus pour la modélisation de la démarche permet une approche structurée et guidée. Le concept de stratégie permet d'explicitier des alternatives différentes et montre l'aspect multi démarches du méta modèle de Carte. Ceci permet d'offrir une certaine liberté de choix aux ingénieurs qui exécutent le processus. Les trois types de directives (DRI, DSS, DSI) associées à la carte facilitent l'exécution de tâches, d'une part et la progression au sein du processus, d'autre part.

Les stratégies de la démarche MV-TMM guident les utilisateurs dans la conception et l'usage d'un modèle de traçabilité suivant le contexte d'un projet. En appliquant le processus obtenu les

utilisateurs trouvent plus de facilité dans l'implémentation de la démarche de traçabilité au sein de leur projet.

Le modèle de processus de carte MV-TMM utilise le concept d'affinement introduit dans la définition des cartes afin de décomposer la complexité du guidage sur plusieurs niveaux d'abstraction. En effet, certaines directives de la carte de plus haut niveau sont de types stratégiques c'est-à-dire décrites par des sous-cartes.

Le processus de la carte MV-TMM est décomposé en deux parties principales: une partie de construction d'un modèle de traçabilité et une deuxième partie consacrée à l'usage de ce dernier. La partie construction du modèle de traçabilité décrit les stratégies à appliquer afin de guider la construction d'un modèle adapté à la situation d'un projet. La partie de la carte décrivant ce processus est composée de deux intentions 'Capturer le besoin projet' et 'Construire le modèle de traçabilité'.

La première intention se préoccupe de la capture du besoin, l'identification du contexte projet et la construction du modèle de traçabilité qui répond aux besoins.

La deuxième intention de la carte MV-TMM guide la capture et l'exploitation des informations de traçabilité. En effet, plusieurs stratégies sont proposées dans cette partie afin de guider les utilisateurs sur la manière d'exploiter les informations de traçabilité.

La capture des informations de traçabilité consiste à proposer des stratégies de haut niveau permettant l'enregistrement des différents types d'informations qui proviennent de plusieurs sources (personnes, outils, etc.). L'exploitation définit des stratégies aidant les utilisateurs à décrire leurs besoins en termes d'utilisation des informations capturées et d'analyse des résultats obtenues.

En résumé, notre démarche aide les responsables d'un projet à mieux maîtriser le cycle de traçabilité dans leur projet. Ainsi, ils ont une meilleure visibilité sur les différentes activités à mener pour réussir un projet de gestion de la traçabilité.

Le chapitre suivant décrit un exemple d'application du processus MV-TMM dans le cadre d'un projet de développement.

CHAPITRE 5

APPLICATION DE LA METHODE MV-TMM (CAS DE L'ENTREPRISE DIAGNOSTICA STAGO)

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une étude de cas qui montre un exemple d'application de l'approche MV-TMM proposée dans cette thèse. Ce cas est issu du projet STG de l'entreprise DIAGNOSTICA STAGO qui avait pour but le développement d'une nouvelle gamme d'instruments. Il a été choisi pour servir de pilote à l'étude menée dans le cadre de cette thèse. Les résultats obtenus ont été également appliqués sur les autres projets de l'entreprise.

Nous avons appliqué la méthode MV-TMM pour gérer la traçabilité des exigences du projet STG, c'est-à-dire, aider les ingénieurs de besoin à capturer, utiliser et maintenir les informations de traçabilité. La méthode guide également les utilisateurs des informations de traçabilité à les exploiter correctement.

Le périmètre du projet STG étant très large, nous allons montrer une application de la démarche MV-TMM dans les trois premières phases du processus de développement, à savoir : la phase de capture du besoin, la phase d'analyse du besoin et la phase de spécification technique des besoins.

Ce chapitre est organisé comme suit : le projet STG est d'abord introduit à la section 2. Ensuite, la Carte MV-TMM est présentée et exécutée pour guider la gestion de la traçabilité des exigences du projet aux sections 3, 4 et 5. Enfin, les apports et la conclusion sont présentés aux sections 6 et 7.

2 Introduction à l'étude de cas

Les instruments de diagnostic médicaux sont des automates (machines automatisées) utilisés pour les diagnostics médicaux et dans des contextes similaires (par exemple pour la détermination de l'état de santé). Ils ont comme rôle la collecte, la préparation et l'analyse d'échantillons sanguins prélevés sur le corps humain [IVD05].

Nous avons assisté dans le cadre de cette étude de cas, à un projet de développement de tels instruments dans l'entreprise STAGO.

Plusieurs types d'instruments ont été fabriqués par l'entreprise depuis sa création mais la particularité de son nouvel instrument est qu'il est conçu dans le cadre d'un projet-type pour l'entreprise.

En effet, les responsables de développement des instruments chez STAGO ont constaté que l'expertise faite sur les anciens projets n'était pas capitalisée, notamment en ce qui concerne les difficultés rencontrées au cours du développement des instruments existants ainsi que les problèmes liés à la satisfaction des besoins de ses clients. Ils ont constaté que ceci est partiellement imputable à l'absence d'une démarche de traçabilité des exigences qui capitalise les données du projet et maintient leur évolution.

L'entreprise a donc pris la décision d'intégrer une démarche de traçabilité des exigences qui fiabilise leur processus de développement, s'adapte au contexte de ces projets et répond mieux aux besoins des différents membres de ces projets. La démarche devrait assurer l'intégration des différentes pratiques existantes de tous les métiers impliqués dans le processus de développement.

Cette mission a été confiée au département Système & Technique de l'entreprise STAGO, dont je faisais partie.

A partir de la section 3, nous rappelons les principes de la méthode MV-TMM. Dans les sections 4 et 5, nous présentons la démarche menée dans le cadre de cette thèse pour répondre aux besoins de l'entreprise en termes de traçabilité des exigences.

3 Rappel de la carte MV-TMM

La carte MAP de la démarche MV-TMM propose plusieurs stratégies pour guider la construction et l'exploitation des informations de traçabilité. Par conséquent, elle facilite le travail de gestion de la traçabilité dans le cadre des projets d'une entreprise.

La carte MAP représente le modèle de processus de gestion de la traçabilité du plus haut niveau. Certaines stratégies de cette carte sont exécutées sur plusieurs niveaux d'abstraction. La figure 1 montre le modèle de carte de plus haut niveau la démarche MV-TMM.

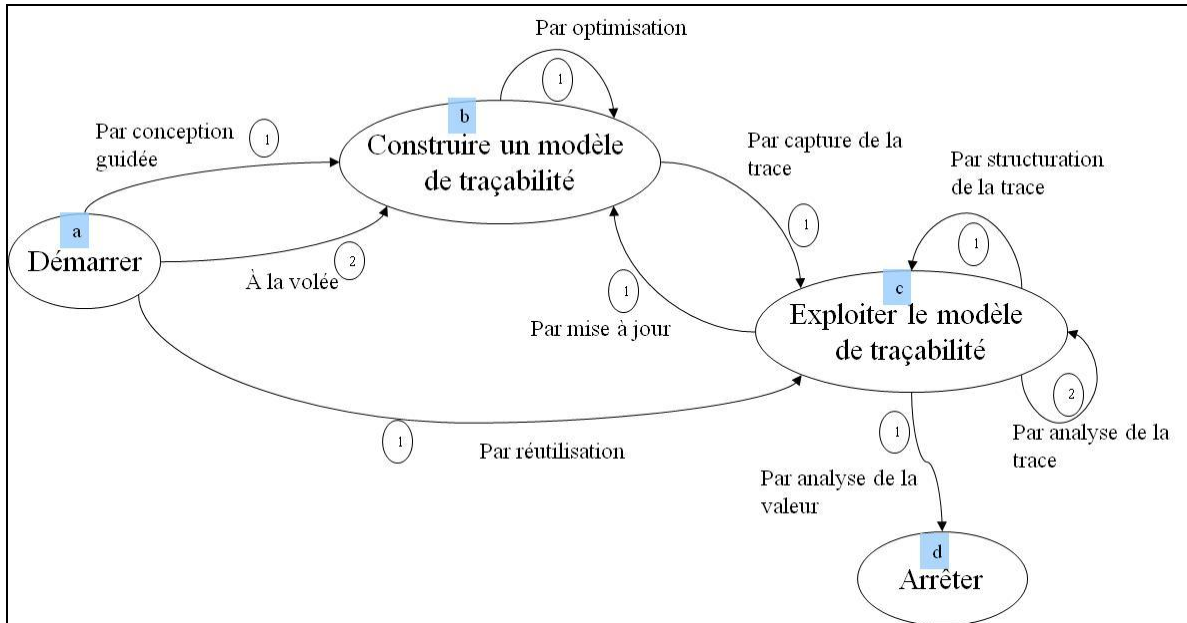


Figure 1: Modèle de carte MAP de la démarche MV-TMM

Les utilisateurs du modèle de carte MV-TMM sont amenés à utiliser les diverses stratégies afin de construire un modèle de traçabilité qui répond aux besoins spécifiques de leur projet. Cela est représenté dans la carte par l'intention *Construire un modèle de traçabilité*.

En plus de la construction d'un modèle de traçabilité, la carte MV-TMM propose des stratégies de guidage pour aider à la capture et l'utilisation des informations de traçabilité. Elles sont représentées dans la figure par l'intention *Exploiter le modèle de traçabilité*.

La suite de ce chapitre est consacrée à la description d'un exemple d'application de la démarche MV-TMM dans le cadre d'un projet industriel chez l'entreprise STAGO.

4 Déroulement de la carte MV-TMM

4.1 Construire le modèle de traçabilité

Étant donné que le processus de la démarche MV-TMM est intentionnel, notre première étape était d'atteindre l'intention *Construire un modèle de traçabilité*. La démarche propose deux stratégies pour progresser vers cette intention. La première stratégie S_{ab1} consiste à guider la construction du modèle à partir de rien, tandis que la deuxième stratégie S_{ab2} suppose la

connaissance préalable du besoin et du contexte du projet. La figure 2 montre la partie de la carte MV-TMM exécutée pour construire un modèle de traçabilité.

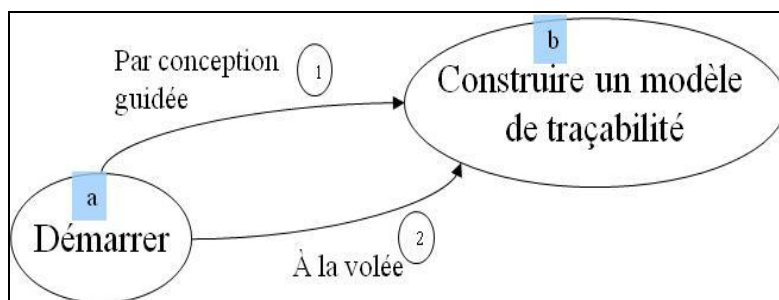


Figure 2: Partie du MAP de construction d'un modèle de traçabilité

La directive de sélection de stratégies DSS_1 de notre démarche MV-TMM propose des arguments pour aider au choix de la stratégie appropriée à chaque situation. Nous avons appliquée la première stratégie en raison de la méconnaissance du besoin dans le contexte du projet STG. Cette stratégie est affinée par une sous carte C.ab1 qui guide la capture du besoin du projet avant la conception du modèle de traçabilité.

Les sections suivantes décrivent avec plus de détail le processus de construction du modèle de traçabilité du projet STG.

4.2 Définition du besoin de traçabilité du projet STG

La stratégie S_{ab1} est un exemple de stratégie affinée par une sous carte (C.ab1). Celle-ci propose deux chemins pour progresser vers l'intention *Définir le besoin de traçabilité*. Le premier est choisi par application de la stratégie Directement ou à travers l'intention *Identifier le projet*.

La figure 3 montre la partie de la sous carte MAP C.ab1 dédiée à ce sujet. La première section $C_{ab1.ac1}$ de cette sous carte propose d'identifier le projet par description de son contexte afin d'établir une première vision sur son environnement social, technique et organisationnel. Une fois le projet identifié, les deux stratégies $S_{ab1.cb1}$ et $S_{ab1.cb2}$ se préoccupent de la définition du besoin de traçabilité du projet à travers la réalisation d'interview ou par lecture des documents projet.

Les autres stratégies $S_{ab1.ab1}$, $S_{ab1.bb1}$ et $S_{ab1.bb2}$ s'intéressent à la dérivation des buts, des contraintes et des exigences projet en termes d'exigences de traçabilité. Ils permettent également l'extraction des différents points de vue d'usage de la traçabilité dans le projet.

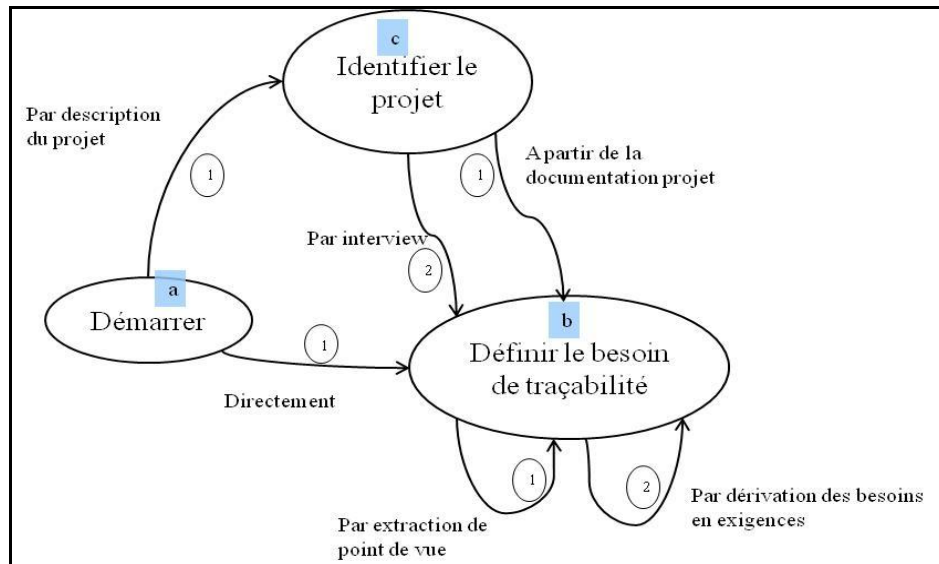


Figure 3: Partie du MAP d'identification du contexte et de définition du besoin d'un projet

La stratégie $S_{ab1.ab1}$ suppose l'existence au préalable d'éléments de besoin de traçabilité.

La suite de cette section décrit le résultat d'application de ces différentes stratégies dans le cadre du projet STG.

4.2.1 Identification du projet STG

Nous avons appliqué la première stratégie $S_{ab1.ac1}$ proposé par la sous carte C_{ab1} afin d'identifier le contexte du projet STG. Ce dernier est composé de divers éléments pouvant caractériser le projet et qui sont de plus considérés comme des sources de besoin.

Le choix de la stratégie $S_{ab1.ac1}$ est justifié par le besoin de découvrir l'environnement et les caractéristiques du projet. Ce sont des informations nécessaires pour la conception d'un modèle de traçabilité spécifique à la situation du projet STG.

Les sous-directives associées à la stratégie $S_{ab1.ac1}$ guide les ingénieurs du besoin dans cette tâche. Le résultat obtenu dans le projet STG est la suivante:

- Environnement organisationnel

Les directives associées à la section $S_{ab1.ac1}$ guident l'identification des entités de l'entreprise directement impliquées dans le processus de développement du projet STG. En effet, l'entreprise STAGO est composée de plusieurs Département qui travail ensemble dans le cadre des différents projets. Chaque entité intervient dans les projets de l'entreprise dans le cadre de leurs domaine de compétence métier.

La figure 4 montre les différents départements de STAGO impliqués dans le projet STG.

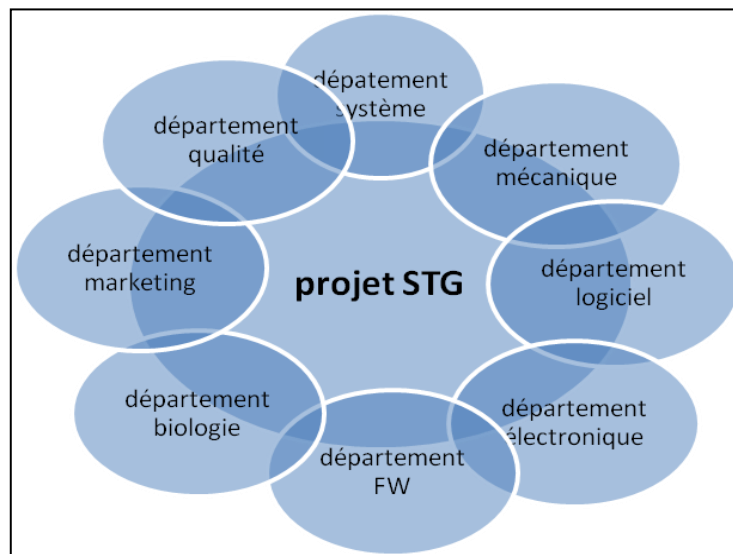


Figure 4: Entité interne de l'entreprise STAGO

En plus des entités internes, le contexte organisationnel de STAGO comprend également des entités externes n'appartenant pas à l'entreprise mais qui interviennent dans le processus de développement. Les sous-traitants logiciels, électroniques et mécaniques sont un exemple d'entités externes en relation avec STAGO.

La figure 5 illustre des exemples d'instances de l'élément Entité interne du modèle décrivant l'élément Organisation projet du méta modèle MV-TMM.

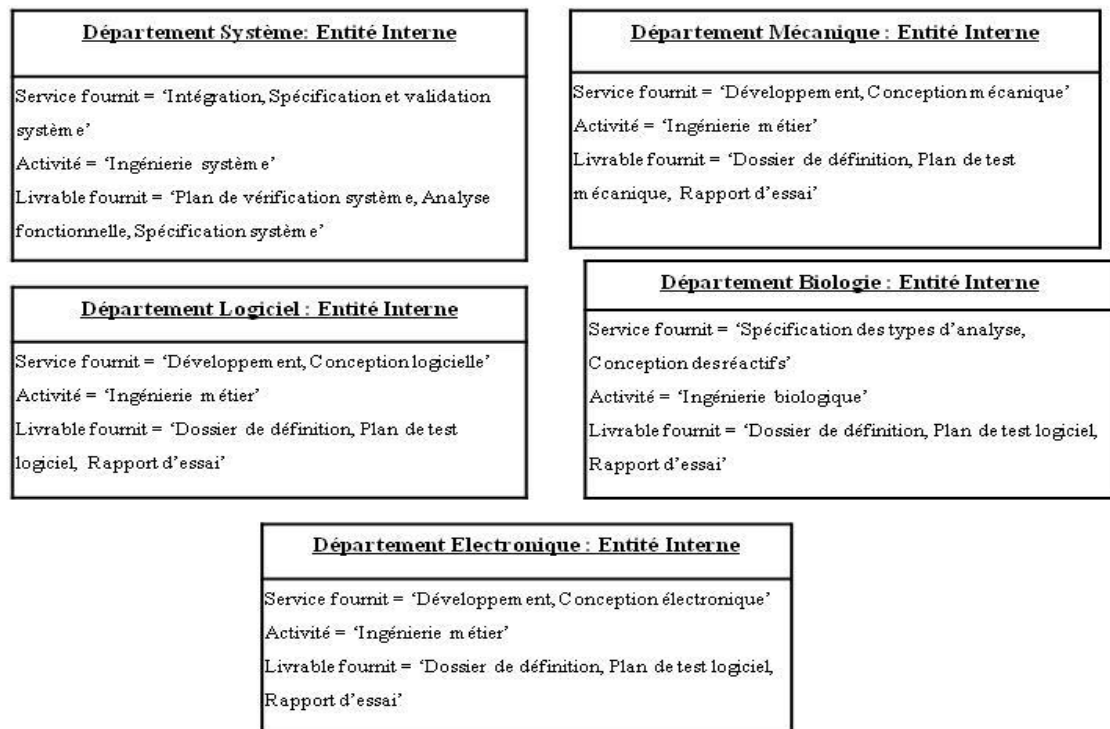


Figure 5: Exemple d'entités internes de STAGO

Etant donné que le périmètre de notre modèle de traçabilité est limité au projet STG, notre étude de cas ne traite pas les besoins qui proviennent des entités externes.

- Caractéristique du projet

Les directives de la stratégie $S_{abl.ac1}$ proposent également un guidage pour déterminer les informations qui caractérisent un projet, telles que, les objectifs du projet, sa taille, ses contraintes réglementaires, etc. La figure 4 suivante présente le résultat obtenu dans le cadre du projet STG.

STG: Projet
Problème traité dans le projet = 'Evolution de la gamme produit de l'entreprise avec capitalisation des connaissances'
Objectifs du projet = 'Développement d'une machine de diagnostic médical'
Critères de succès du projet = 'Maîtrise de la conception, traçabilité du cycle projet, respect du budget, fiabilité des tests'
Durée du projet = '3ans, temps par personne = 1/3, Nb heure/personne = 3600h'
Classe du projet = 'Nb. d'exigences : 1000 exigences, Budget : ~10Million euro, Complexité : expert-débutant, Technologies: solution avec plusieurs choix'
Risque projet = 'Non respect du besoin client, non maîtrise de la maintenance des machines, pas de cohérence entre les membres du projet'
Contraintes = 'Pas de modification de l'environnement technique appliqué, respect du budget, respect des contraintes client, respect des normes de qualité'
Normes et standards = 'FDA, ISO, CEM'
Principales phases du projet = 'Besoin, Exigences, spécification, réalisation, validation'

Figure 6: Caractéristiques du projet STG

Les informations obtenues dans le tableau 1 facilitent :

- La détermination des priorités projet: les attributs *critère de succès du projet*, *risque du projet* permettent de relever par exemple les sujets qui nécessitent plus d'effort dans le projet afin de les traiter en priorité dans le processus de traçabilité.
- La limitation du périmètre du modèle de traçabilité: les attributs *phases projet*, *classe projet*, *effort et contraintes* permettent de limiter le contenu du modèle de traçabilité suivant les valeurs affectés à chaque attribut. Le choix de quatre phases par exemple limite la couverture du modèle de traçabilité uniquement à ces derniers.
- Environnement social et technique

Les directives de la stratégie $S_{ab1.ac1}$ guident également la recherche d'information relative à l'environnement social et technique du projet. Ce genre d'informations servira plus tard pour identifier les informations de traçabilité relatives aux membres du projet ainsi que sur les outils de travail utilisés. Ces directives proposent par exemple d'identifier les rôles des membres du projet ainsi que leurs types d'engagements vis-à-vis des livrables (figure 7).

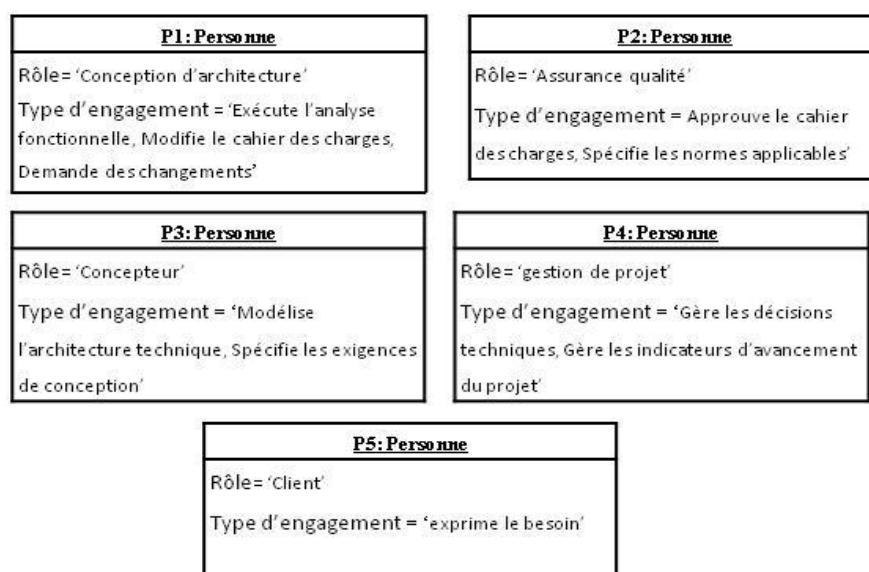


Figure 7: Exemple des personnes du projet STG et leurs rôles

En plus de l'identification de l'environnement social, les directives de la stratégie $S_{ab1.ac1}$ identifient l'environnement technique du projet. Celle-ci est composée des différents outils et technologies utilisés dans le projet pour assurer les activités de gestion ou d'ingénierie. Les outils sont considérés comme des moyens de capture des informations de traçabilité; il est donc nécessaire de les identifier.

La figure 8 montre les outils et leurs fonctions principales dans le projet STG.

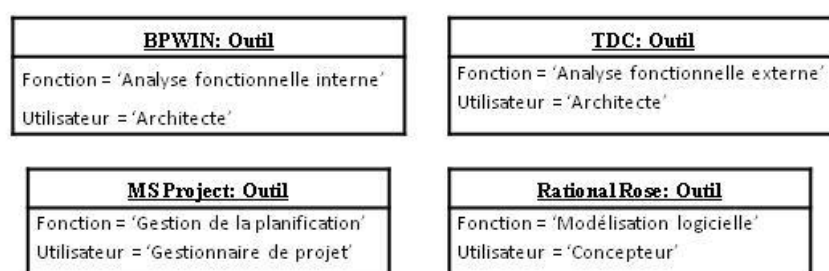


Figure 8: Outils et leurs fonctions dans le projet STG

4.2.2 Définition des besoins des responsables projet

Les responsables du projet STG sont principalement les personnes qui déterminent les buts de plus haut niveau concernant la traçabilité des exigences du projet. A partir de ces buts l'ingénieur des besoins de traçabilité identifie les informations essentiels à prendre en compte dans le processus de traçabilité.

La démarche MV-TMM propose la stratégie $S_{ab1.cb2}$ pour guider les ingénieurs de besoins à identifier les buts des responsables du projet. Les directives associées à cette stratégie préconisent l'utilisation de la technique d'interview. La figure 9 présente deux exemple d'instance de l'élément *But* du méta modèle MV-TMM.

:But	:But
Identifiant= 'B1' Intitulé = 'Vérifier que toutes les exigences clients ont été tenues' Description = '' Responsables = 'Chef de projet' Num Interview = 'INTVW01' Date Interview = '010107' CR Interview = ''	Identifiant= 'B2' Intitulé = 'S'assurer que le besoin des clients est correctement implémenté' Description = '' Responsables = 'Client' Num Interview = 'INTVW02' Date Interview = '010606' CR Interview = ''

Figure 9: Exemple de structure d'un but

Le tableau 1 montre un résumé des buts des responsables du projet STG. Ils sont en général abstraits et dans certains cas n'ont pas de lien direct avec la traçabilité.

Personne	But
Chef de projet	B1 : Vérifier que toutes les exigences clients ont été tenues B7 : Mesurer la progression du développement B8 : Adaptation rapide vis-à-vis des changements clients B10 : Suivre l'impact des changements B11 : Respect du délai B12 : Réduction du coût de développement
Client	B2 : S'assurer que le besoin est correctement implémenté B13 : Avoir une visibilité globale sur la livraison des produits B14 : Documentation détaillée de l'instrument B15 : Respect du budget
Architecte	B3 : S'assurer que les exigences ont été allouées aux composantes du système B4 : Vérifier la cohérence entre les interfaces des composantes B6 : Vérifie l'origine de chaque exigence B16 : Limiter les exigences dérivées
Responsable qualité	B5 : Avoir une justification des choix de conception B9 : Suivi du processus de décision B17 : Avoir un historique des modifications B18 : Respecter les normes & standards B19 : Gérer les risques projets et instruments

Tableau 1: Buts des acteurs du projet STG

Nous pouvons obtenir le même résultat en appliquant la stratégie $S_{ab1.cb1}$ basée sur la lecture de la documentation du projet. Cette stratégie n'est pas adaptée au contexte du projet STG en raison du manque de documents nécessaires à la capture du besoin.

4.2.3 Dérivation des exigences de traçabilité

La stratégie $S_{ab1.bb2}$ propose quand à elle des directives pour aider à la décomposition des besoins capturés dans la section précédente en exigences de traçabilité. Cette traduction des buts des responsables du projet en exigences de traçabilité facilite leurs compréhensions et leurs implémentations par les concepteurs des modèles de traçabilité.

Prenons par exemple le but B2 = "S'assurer que le besoin des clients est correctement implémenté"(Figure 10). Le Client est à l'origine de ce besoin, il souhaite avoir un moyen pour s'assurer que son besoin est correctement implémenté. Les ingénieurs des besoins de traçabilité traduisent ce but en deux exigences:

- **Treq2:** Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté.
- **Treq3:** Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement).

Cette traduction des buts en exigences de traçabilité aide les experts de traçabilité à mieux comprendre le besoin en lui donnant une signification plus précise et plus proche avec les termes habituels de leur domaine.

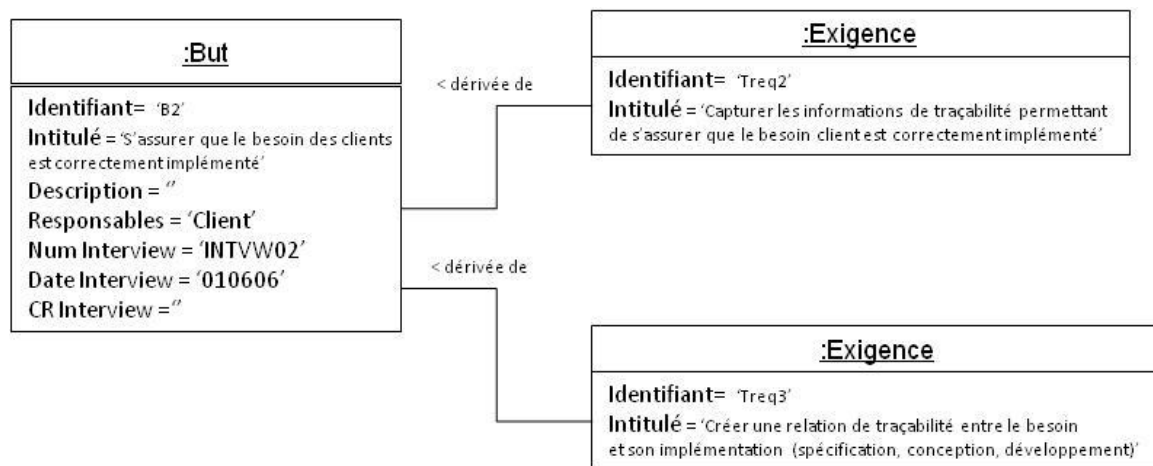


Figure 10: Exemple de dérivation d'exigences

Le tableau 2 montre la liste des exigences obtenues après la traduction de chaque but du tableau 1.

But	Exigences dérivées
B1	Treq1: Capturer les informations de traçabilité permettant la vérification de l'état des exigences des clients
B2	Treq2: Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté
	Treq3: Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement)
B3	Treq4: Créer une relation d'allocation entre les exigences et les composantes du système
B4	Treq5: Créer une relation de dépendance entre les interfaces des composantes du système
B5	Treq6: Capturer les informations de justification des choix de conception
	Treq10: Enregistrer les étapes et les livrables associés aux processus de prise de décision dans le projet.
B6	Treq7: Capturer les informations de justification de l'origine de chaque exigence
B17	Treq8: Capturer les informations sur l'évolution des différents livrables du projet.
B8, B10	Treq9: Capturer les informations de gestion des changements du besoin client

Tableau 2: Dérivation des buts en exigences de traçabilité

4.2.4 Identification des points de vue

Le méta modèle MV-TMM propose quatre points de vue de base utilisable dans n'importe quel type de projet à savoir, *Ingénierie*, *Qualité*, *Maintenance* et *Gestion*. Les concepteurs des modèles de traçabilité peuvent instancier chaque point de vue suivant le contexte de leur projet.

La construction d'un fragment de modèle suivant plusieurs points de vue permet une prise en compte de tout les besoins des acteurs du projet. Ainsi, l'identification des points de vue est un préalable à la construction des fragments de trace.

La figure 11 montre un exemple de point de vue sélectionné dans le contexte du projet STG. Le point de vue 'PV1' concerne les informations de traçabilité relatives aux activités d'ingénierie des besoins dans le projet STG. Il doit représenter les informations de traçabilité qui répond aux besoins B1 et B2 cité dans le tableau 2.

:Point de vue Identifiant= 'PV2' Intitulé = 'Gestion des décisions' Responsable = 'Chef de projet'	:Point de vue Identifiant= 'PV6' Intitulé = 'Validation système' Responsable = 'Architecte'
:Point de vue Identifiant= 'PV3' Intitulé = 'Gestion des changements' Responsable = 'Client'	:Point de vue Identifiant= 'PV1' Intitulé = 'Ingénierie des besoins' Responsable = 'Chef de projet'

Figure 11: Identification des points de vue

De la même manière nous pouvons identifier tous les autres points de vue dans le projet STG. Elles sont représentées dans la figure 13 de la section 4.3.

4.3 Construire un modèle de traçabilité multi vues

A partir du besoin capturé à travers l'intention *Définir le besoin de traçabilité*, la sous carte d'affinement C_{ab1} de la démarche MV-TMM propose de construire un modèle de traçabilité multi vues adapté au contexte du projet STG, c'est-à-dire, adapté à la taille du projet, ses contraintes, les buts de ses responsables, etc.

Les sections suivantes montrent le résultat de l'application des stratégies de construction du modèle de traçabilité.

4.3.1 Identification des fragments

Les fragments de modèle de traçabilité sont des parties de modèle qui représentent chacune les informations de traçabilité relatives à une phase ou une partie d'un projet et suivant plusieurs points de vue. Ils facilitent la création d'un modèle complexe en le représentant en fragments de modèles.

La stratégie $S_{ab1.bd1}$ de la démarche MV-TMM propose des directives pour guider le choix des fragments. Les critères de décomposition du projet peuvent être les jalons, les phases du projet ou même l'architecture fonctionnelle des systèmes en développement.

La figure 12 montre les trois fragments identifiés dans le cadre du projet STG, nous avons choisi comme critère de décomposition les phases du projet:

- Le premier fragment FMT1 est associé à la phase de capture et d'analyse du besoin client.
- Le deuxième fragment FMT2 concerne la phase de spécification des exigences système.

- Le troisième fragment FMT3 décrit les informations de traçabilité associées à la phase de spécification logicielle.

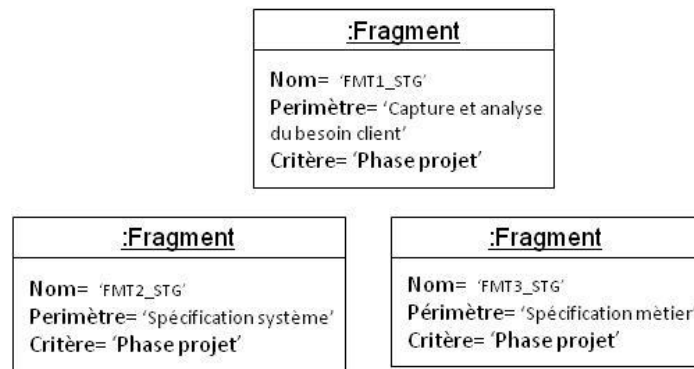


Figure 12: Identification des fragments du modèle de traçabilité

La figure 13 présente les points de vue d'associés à chaque fragment. Ainsi chaque fragment de modèle de trace doit représenter les éléments de traçabilité qui répond à chaque point de vue.

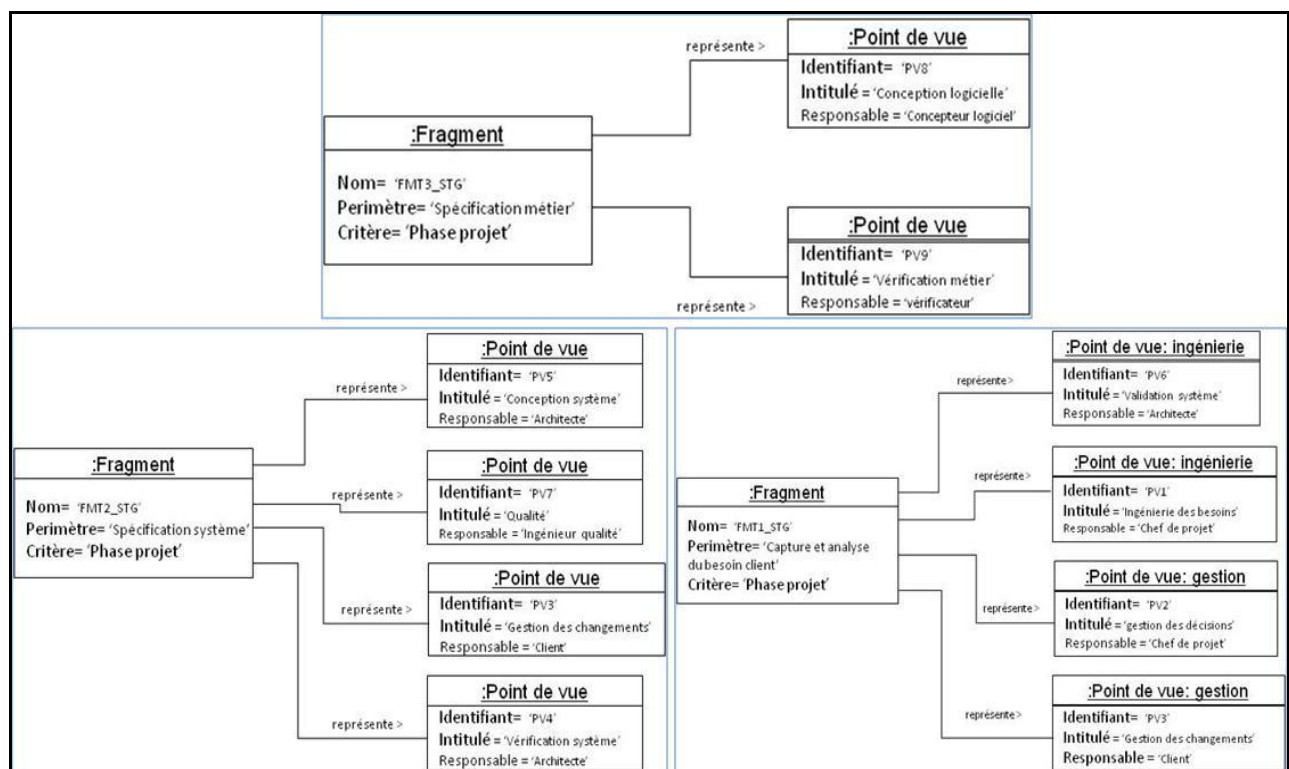


Figure 13: Points de vue représentés par les fragments du modèle de traçabilité

4.3.2 Construction du modèle de traçabilité

Dans cette section nous allons décrire le déroulement du processus de construction du modèle de traçabilité du projet STG. La figure 14 montre la partie de la carte MAP (C.ab1) consacrée à la construction de ce modèle.

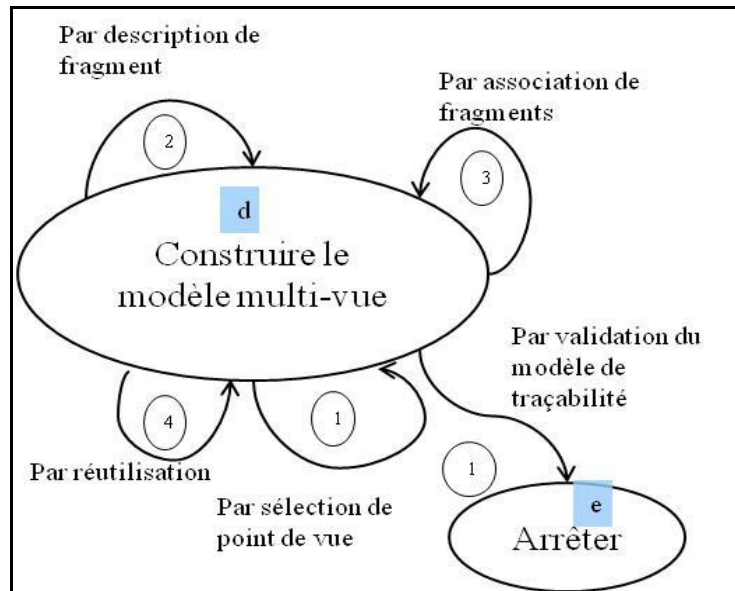


Figure 14: Partie de la carte C.ab1 de construction d'un modèle de traçabilité.

La construction du modèle de traçabilité est réalisée via l'application d'une ou plusieurs stratégies de la carte C.ab1: par sélection de point de vue ($S_{ab1.dd1}$), par réutilisation ($S_{ab1.d1}$), par construction d'un fragment ($S_{ab1.dd1}$), par association de fragments ($S_{ab1.dd1}$).

La suite de cette section décrit l'application de ces stratégies dans le projet STG.

4.3.2.1 Choix de point de vue

La stratégie $S_{ab1.dd1}$ propose de sélectionner le point de vue que doit représenter la partie du modèle de traçabilité en cours de construction. Ainsi, la conception du modèle de traçabilité est orientée par le choix des éléments qui sont liés uniquement au point de vue choisi.

Le choix des points de vue est un préalable nécessaire à la construction d'un fragment. Ils facilitent également la réutilisation de certains éléments d'un fragment dans d'autres fragments.

Nous allons montrer dans la section suivante les différents points de vue sélectionnés au cours du processus de construction des parties de modèles de traçabilité relatives aux fragments déjà identifiés précédemment (FMT1, FMT2 et FMT3).

4.3.2.2 Fragment de modèle de traçabilité FMT1

Chaque fragment représente les informations de traçabilité d'un ou plusieurs points de vue. Ils sont obtenus par application de la stratégie $S_{ab1.dd2}$ qui propose une directive de type stratégique.

A. Partie du Fragment FMT1 du point de vue ingénierie

Nous rappelons que le point de vue ingénierie se préoccupe de la représentation des informations de traçabilité liées aux activités de spécification, de conception et de développement dans un projet. Le fragment FMT1 représente la phase de capture et d'analyse du besoin client.

Le service Marketing de l'entreprise STAGO est responsable de la capture du besoin des clients de l'entreprise. Il utilise un modèle de besoin composé d'exigences, de buts, de contraintes et de quelques choix techniques sur les instruments. Le chef de projet a demandé de ne pas tracer le processus de capture mais uniquement le livrable du besoin Marketing.

La figure 15 montre le modèle du besoin Marketing décrit en utilisant la notation de l'élément *Livrable* du méta modèle MV-TMM. En revanche, nous avons appliqué la notation du langage UML en ce qui concerne le contenu du *Livrable*. Le modèle de la figure 15 est composé d'information de traçabilité décrivant le besoin Marketing, telles que, des buts, des exigences ou des choix technique. Elles sont obtenues par application de la stratégie $S_{ab1.dd2.ab1}$ de la carte C.ab1.dd2.

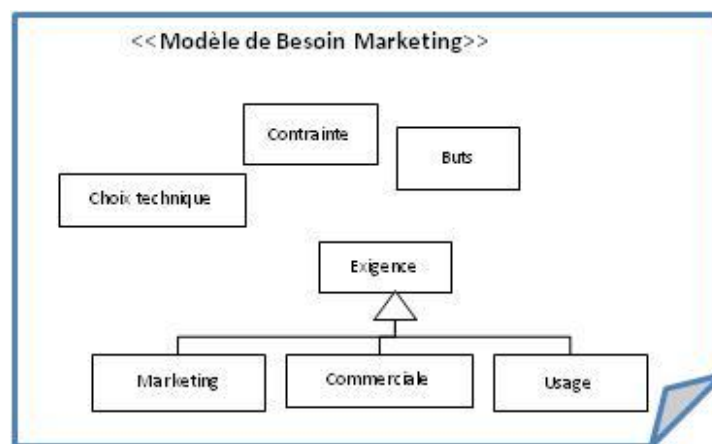


Figure 15: Modèle du livrable du besoin Marketing

La figure 16 quant à lui montre les éléments de trace représentant le point de vue ingénierie de besoin associés au livrable du besoin Marketing. Nous remarquons en particulier l'introduction de l'élément "Chef de projet" de type *Acteur* et le lien de traçabilité "modifie" de type

Contribution. Le modèle de ce figure est obtenu par application des stratégies de la sous carte C.ab1.dd2.

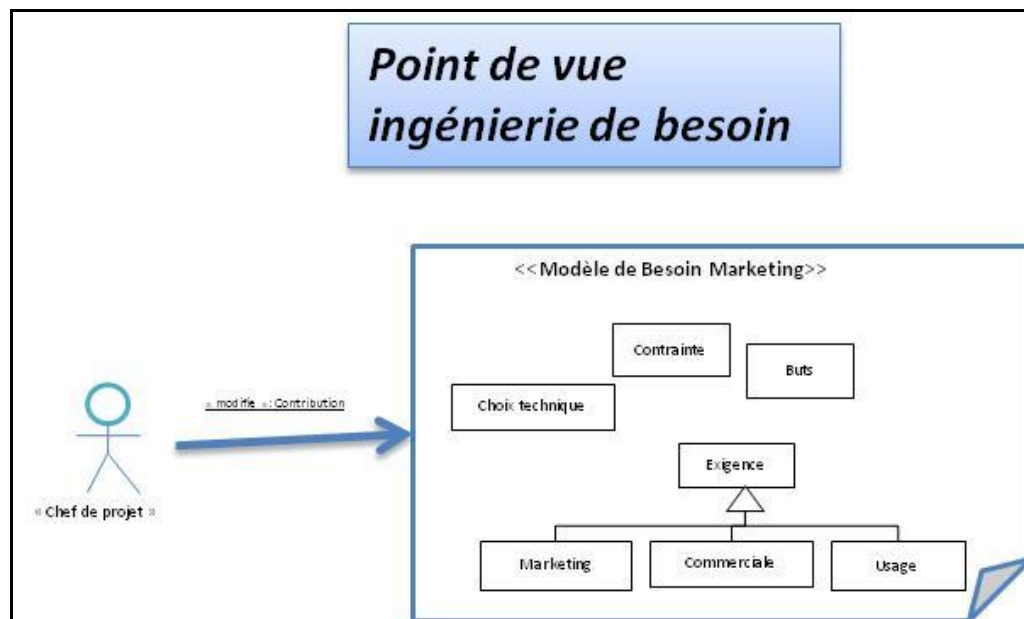


Figure 16: Partie du fragment FMT1 du point de vue ingénierie du besoin

B. Partie du Fragment FMT1 du point de vue gestion des décisions

Dans le cas de la gestion des décisions du projet STG, la partie du modèle de fragment FMT1 qui représente des décisions est obtenue par réutilisation du modèle IBIS [Conklin, 98]. La technique de réutilisation est décrite dans la stratégie S_{dd4} de la sous carte C.ab1.

Le modèle IBIS est un modèle de prise de décision qui aide les chefs de projet à faire des choix au cours du projet. Nous avons choisi d'appliquer la directive de réutilisation complète du modèle car d'une part, il répond aux besoins des responsables de l'entreprise et, d'autre part, ce modèle a été appliqué et validé dans d'autres contextes. Le modèle est décrit dans la figure 17 avec la notation proposée par notre approche MV-TMM. Il représente les informations suivantes:

- Un argument est une justification d'un choix parmi plusieurs
- Une hypothèse est une proposition de solution qui répond aux problèmes posés
- Un problème nécessite une prise de décision par un responsable
- Une décision est un choix d'une solution justifié par un argument

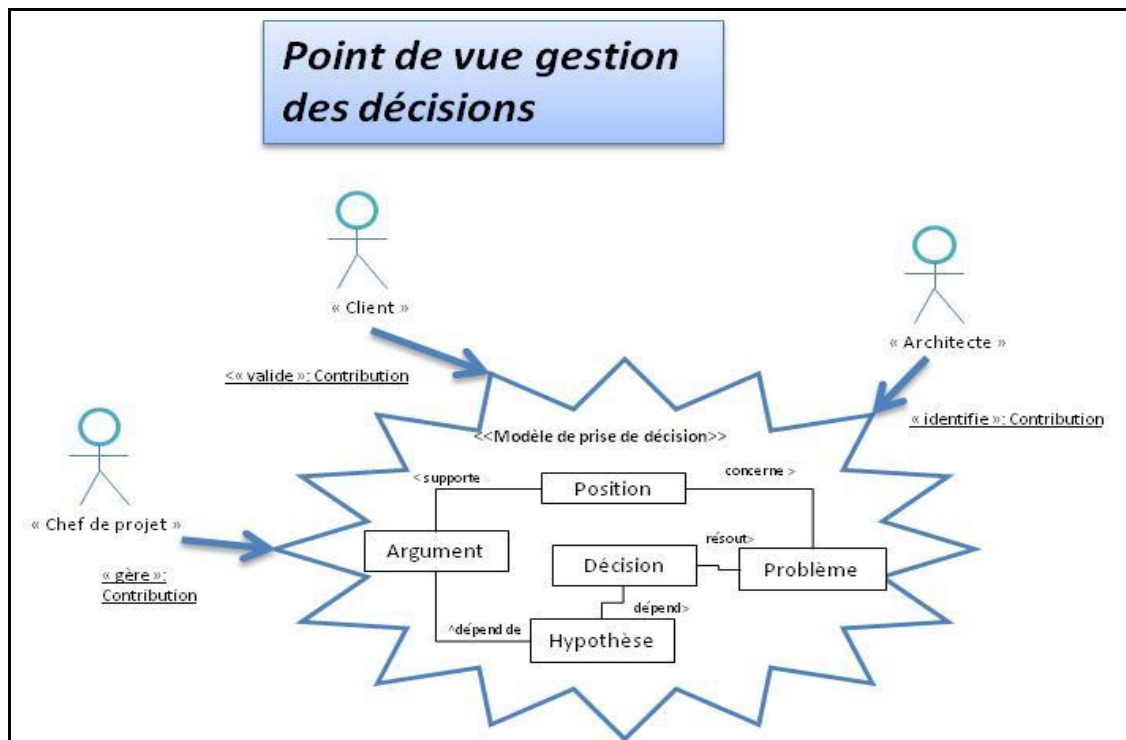


Figure 17: Partie du fragment FMT1 du point de de gestion des décisions

Les informations de traçabilité de type *Acteur* et *lien de contribution* de la figure 17 sont obtenues par application de la stratégie $S_{ab1.dd2.bb2}$. Ces informations n'impactent pas le modèle IBIS mais capture la trace du processus de prise décision.

C. Partie du fragment FMT1 du point de vue gestion des changements

Les informations de traçabilité de gestion des changements font partie des informations du point de vue de gestion. Elles se préoccupent de la traçabilité des demandes de changement, leurs statuts et de leurs origines.

La figure 18 montre la partie du fragment FMT1 de modèle de traçabilité décrivant les informations de traçabilité de type gestion de changement. La traçabilité du processus de gestion est demandée dans le cas du projet STG. Le modèle de la figure 18 est obtenu par application des sous-directives stratégique de la stratégie $S_{ab1.dd2.ab1}$ de la sous carte Cab1.dd2.

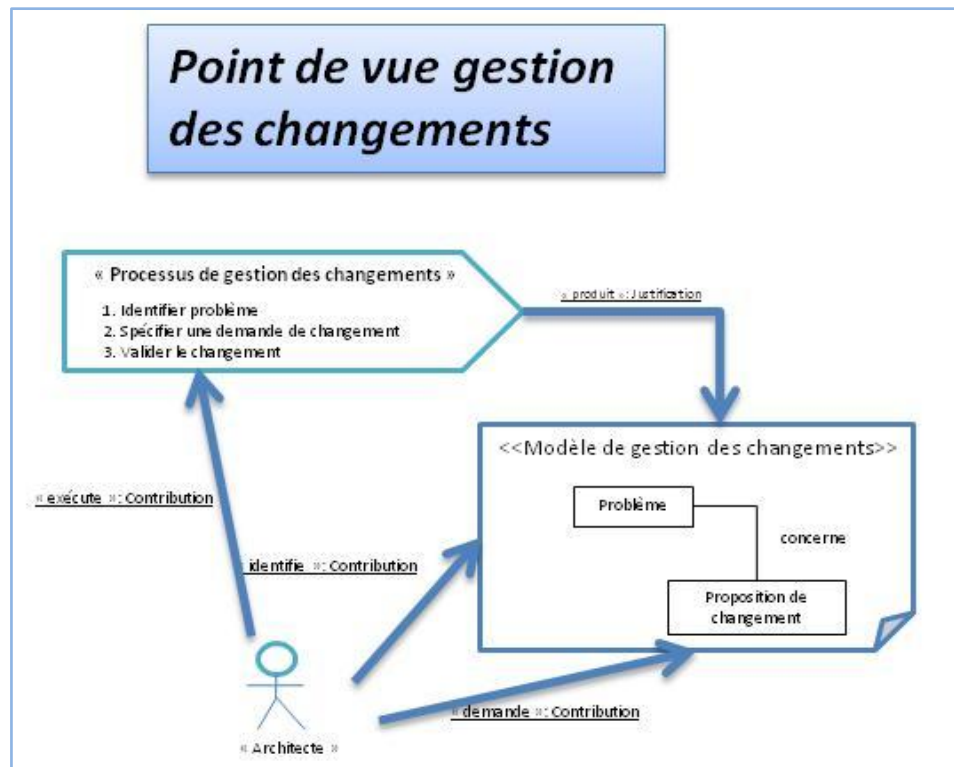


Figure 18: Partie du fragment FMT1 du point de vue gestion des changements

D. Partie du fragment FMT1 du point de vue qualité

Dans le projet STG, les responsables de la qualité des instruments ont demandé la prise en compte de certaines informations leur permettant un suivi du statut des exigences du livrable besoin Marketing, de leur conformité aux standards et des risques associés aux exigences non tenues.

De la même manière que dans les étapes précédentes. Nous avons conçu une partie de modèle du fragment FMT1 du point de vue qualité afin de répondre aux besoins des responsables de la qualité. Le résultat est décrit dans la figure 19.

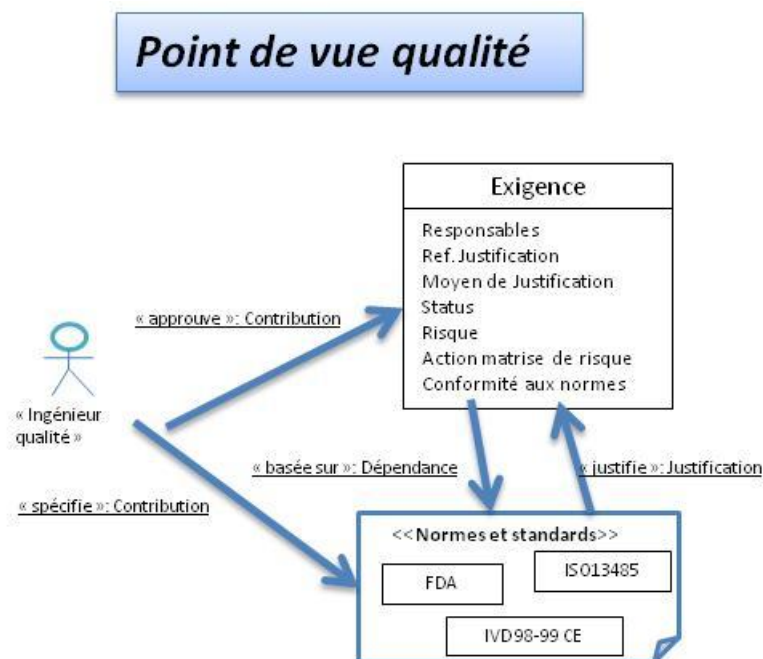


Figure 19: Partie du fragment FMT1 du point de vue qualité

E. Partie du fragment FMT1 décrivant le point de vue validation

Le modèle de validation des besoins client est un livrable que le fragment FMT1 doit représenter. Le modèle de la figure 20 montre la partie du fragment FMT1 décrivant les éléments de trace du point de vue validation système.

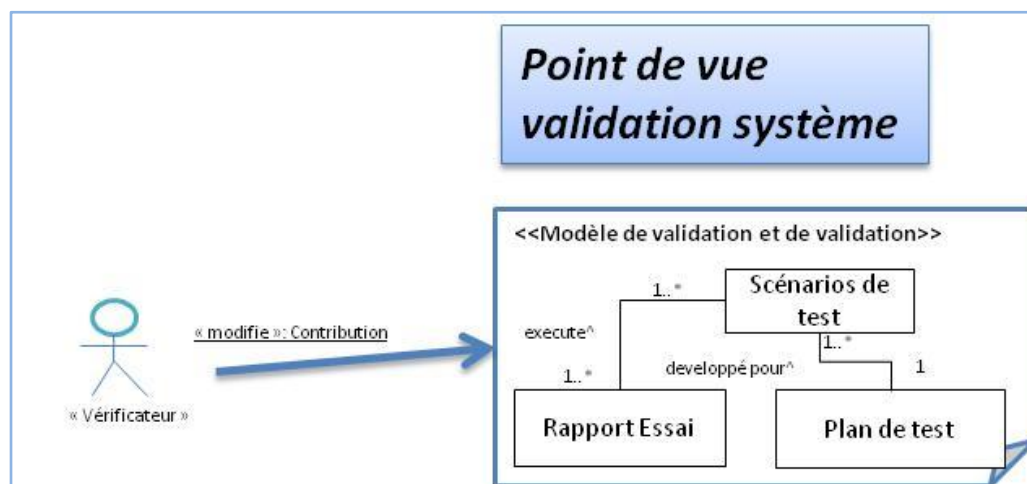


Figure 20: Partie du fragment FMT1 du point de vue validation

F. Fragment FMT1 décrivant tous les points de vue

Les parties de modèle de traçabilité conçues dans les étapes précédentes représentent d'une façon séparée les éléments de trace des différents points de vue. Certaines parties doivent être

associées à d'autres afin de composer un modèle d'un seul fragment FMT1. La figure 21 montre le résultat de l'intégration des modèles des figures 17, 18, 19 et 20 dans le cadre du fragment FMT1.

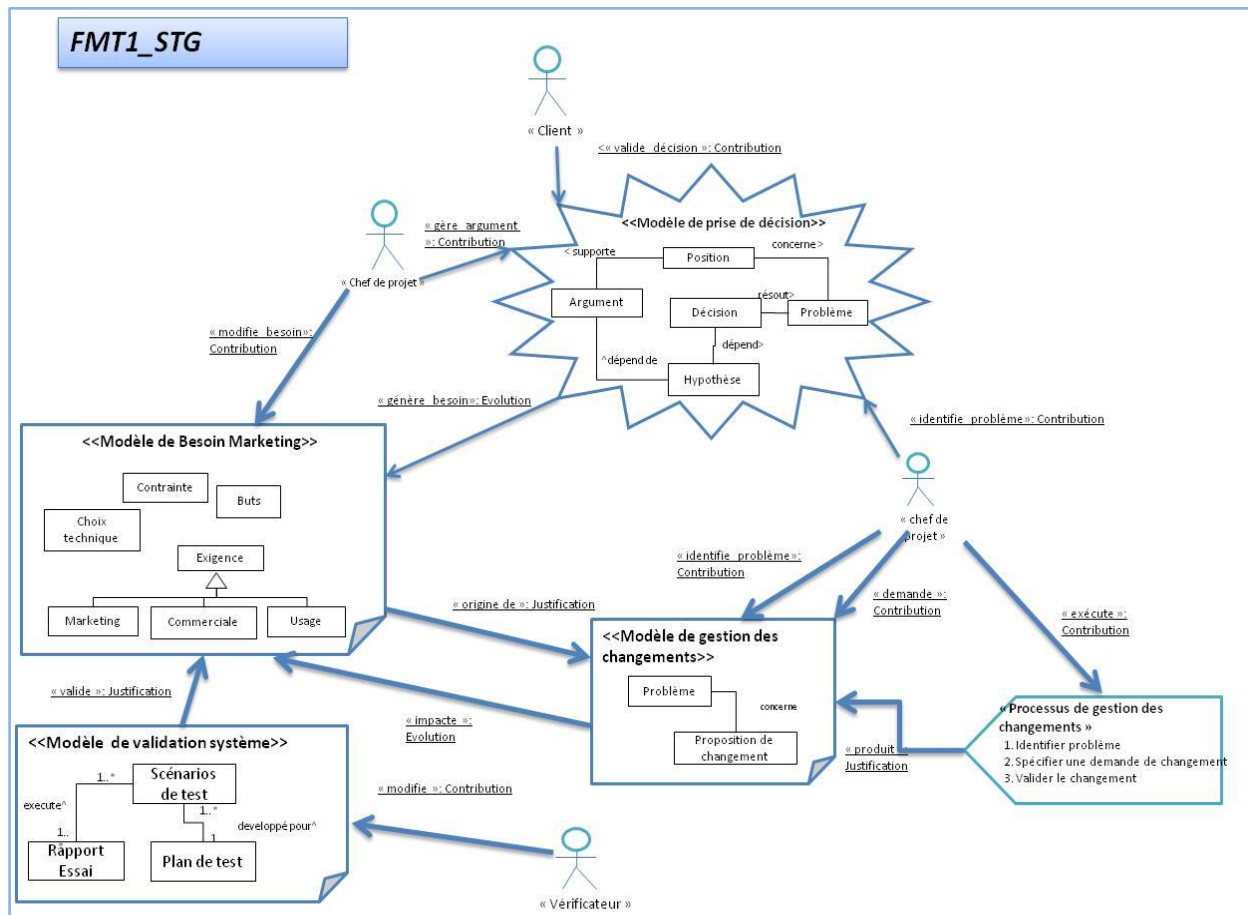


Figure 21: Modèle multi points de vue du fragment FMT1

4.3.2.3 Fragment de modèle de traçabilité FMT2

Une fois le besoin des projets de l'entreprise STAGO est identifié, les architectes système appliquent la méthode APTE [Bretesche, 00] [AFNOR, 90] afin de réaliser une analyse fonctionnelle des instruments en cours de conception.

L'architecte du projet STG avait besoin de tracer les livrables et le processus de la méthode APTE afin de justifier son analyse fonctionnelle.

L'analyse fonctionnelle avec la méthode APTE s'intéresse aux relations externes entre le système et son environnement en vue d'analyser le besoin sans préjuger des solutions. Elle propose de représenter le système sous la forme de fonctions le caractérisant et de les analyser sous l'angle de l'interaction avec les milieux extérieurs.

La figure 22 illustre les différentes étapes de ce processus. Elles sont obtenues par application de la stratégie $S_{ab1.dd2.ab2}$ de la carte Cab1.bb2.



Figure 22: Modèle de processus de la méthode APTE

Le livrable de la méthode APTE est composé d'Entité et de Relation entre ces entités. La figure 23 montre les éléments du livrable associé à cette méthode.

Nous avons utilisé la notation du langage de modélisation UML afin de représenter le contenu du livrable. En revanche, c'est l'application de la stratégie $S_{ab1.dd2.ab1}$ de la démarche MV-TMM qui a permis la description du contenu du livrable.

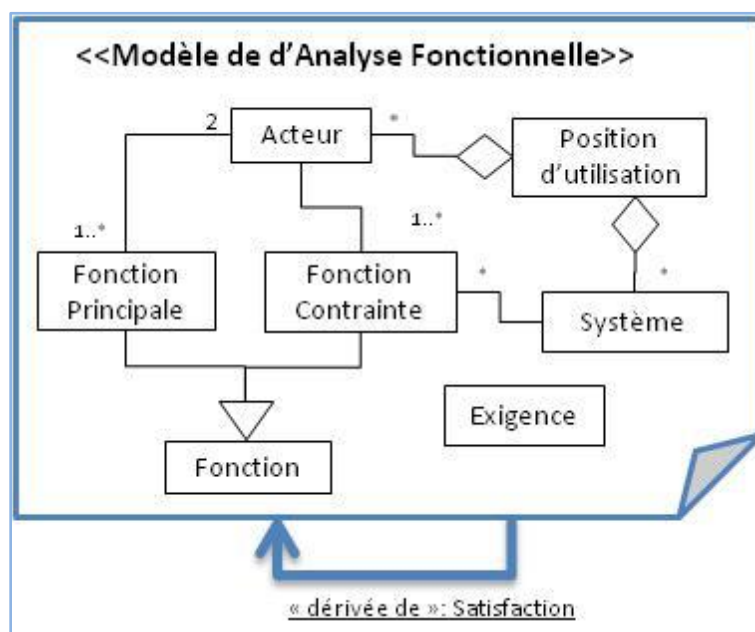


Figure 23: Modèle du livrable de la méthode APTE

- La *position d'utilisation* est un élément qui représente les différentes situations d'utilisation d'un système tout au long de son cycle de vie.
- L'*acteur* est une personne en contact avec le système pendant son cycle de vie.

- La *fonction* est un élément qui représente les fonctions principales et contraintes du système.
- L'élément *exigence* représente les exigences dérivées à partir des fonctions du système.

La figure 24 montre les éléments de trace du point de vue conception système. Ils sont obtenus par application de la sous carte Cab1.dd2.

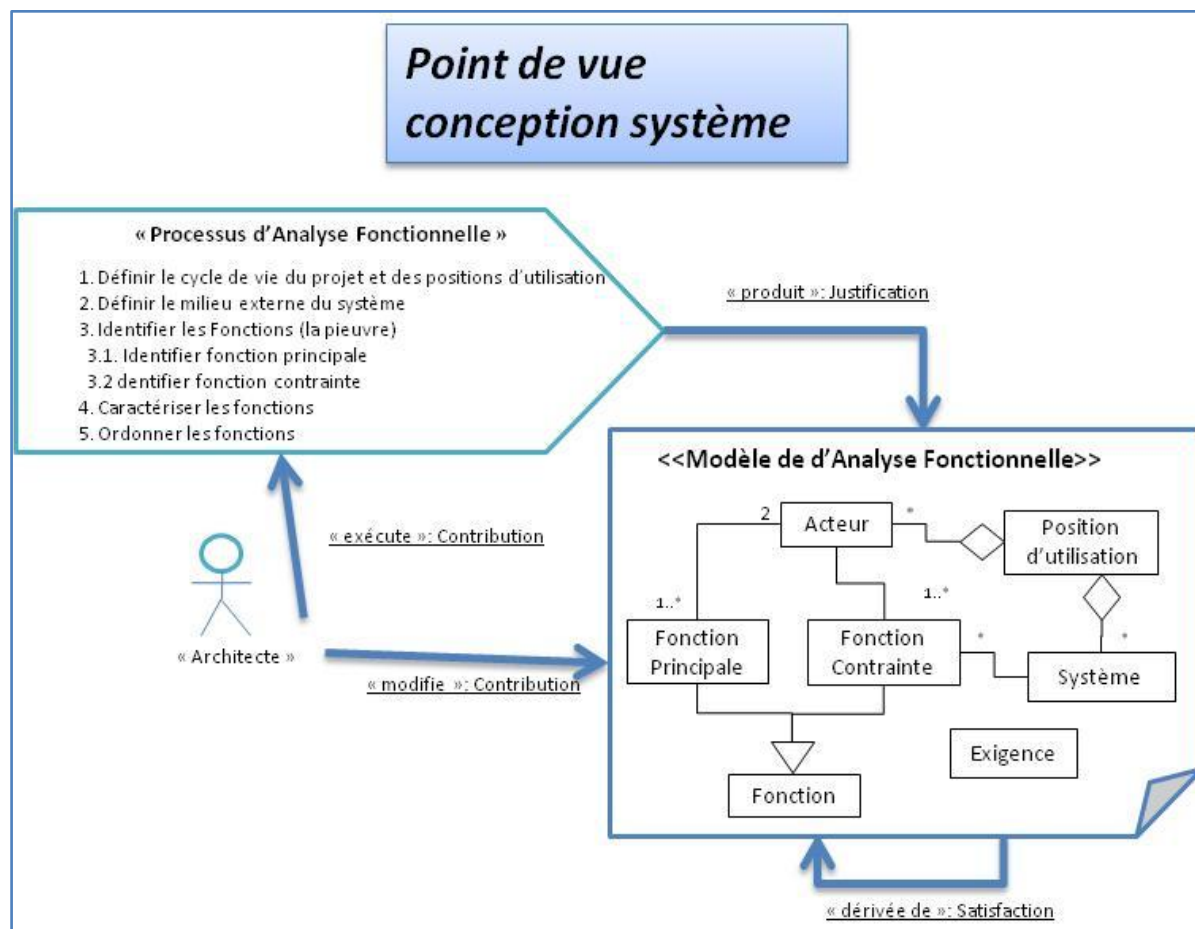


Figure 24: Élément de trace du point de vue conception système

4.3.3 Association de fragments

Dans les sections précédentes nous avons représenté les informations de traçabilité de trois fragments du projet STG. L'association des fragments est nécessaire pour la construction d'un modèle générique du projet. Elle est obtenue par application de la stratégie $S_{ab1.dd3}$ de la démarche MV-TMM. Nous avons appliqué cette stratégie pour l'identification des différents liens de traçabilité entre les fragments FMT1 et FMT2.

Nous désignons dans la suite de ce chapitre le modèle de besoin Marketing par CEBM et le modèle d'analyse fonctionnelle par CDCF.

Le lien entre le CEBM du fragment FMT1 et le CDCF du fragment FMT2 est un lien de type *Justification* tandis que le lien entre le livrable CDCF et le CEBM est de type *Satisfaction*:

- Du CEBM vers le CDCF, le lien est vu par les architectes comme une justification de ses fonctions, alors son nom sera «justifie».
- Dans le sens inverse, le lien est vu par l'architecte comme une satisfaction du besoin client par création de fonctions système, alors son nom sera « satisfait ».

La figure 25 montre les deux fragments FMT1 avec les liens de traçabilité entre le CDCF et le CEBM.

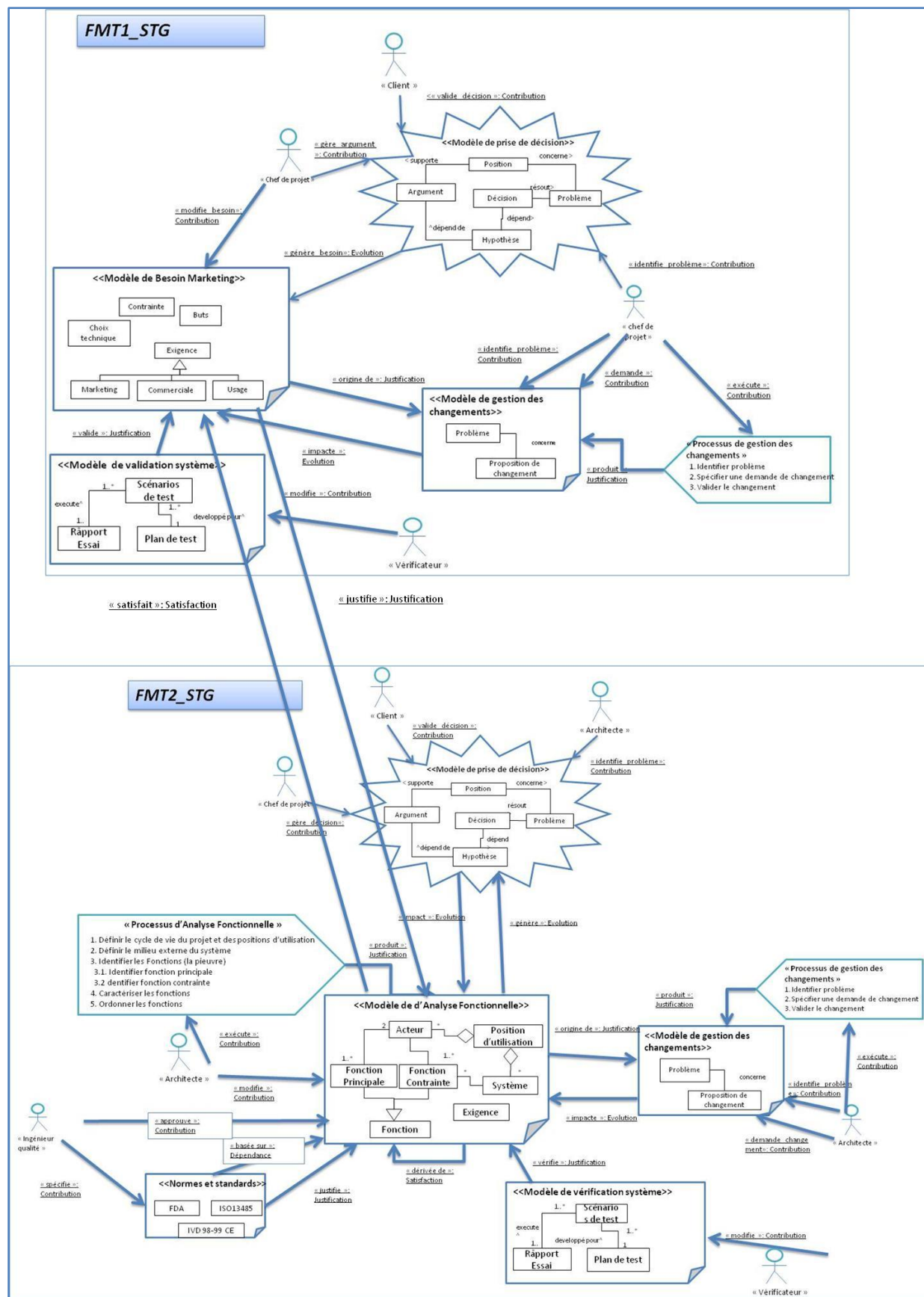


Figure 25: Association des fragments FMT1 et FMT2

4.3.4 Arrêter le processus de construction par validation

L'étape finale du processus de construction du modèle de traçabilité du projet STG consiste à guider sa validation. Cette étape s'assure de la satisfaction des utilisateurs et vérifie la conformité des informations représentées dans le modèle par rapport à leurs besoins.

La stratégie de validation $S_{ab1.de1}$ propose trois directives pour valider un modèle de traçabilité. Chaque directive se préoccupe d'un niveau d'utilisation. Les trois niveaux sont : le niveau des utilisateurs, le niveau projet et le niveau de l'organisation.

Les utilisateurs, les responsables du projet ainsi que les directeurs de l'entreprise doivent vérifier à travers une matrice de complétude que leur besoin est pris en compte dans chaque fragment de modèle de traçabilité. Les lignes de la matrice sont composées des personnes tandis que les colonnes des besoins.

S'il manque des informations lors de la conception du modèle de traçabilité, les concepteurs des modèles peuvent appliquer la stratégie d'affinement $S_{ab1.bb2.cb1}$ pour compléter le besoin qui manque.

5 Capture et exploitation des informations de traçabilité

Dans cette section nous proposons le résultat de l'application du processus de capture et d'usage des informations de traçabilité de la démarche MV-TMM dans le contexte du projet STG. Le processus guide les membres d'un projet pour qu'ils puissent exploiter efficacement les données de traçabilité sans avoir besoin d'un expert du domaine de la traçabilité des exigences.

Nous signalons que la capture et l'usage des informations de traçabilité nécessite l'usage d'une Base de Données de Traçabilité (BDT). Notre démarche propose des directives indépendantes des contraintes des outils de traçabilité. En revanche, dans le projet STG nous avons utilisé l'outil DOORS [Telelogic, 08] pour gérer les données de traçabilité.

5.1 Capture des informations de traçabilité

La figure 26 montre la partie du processus MAP de la démarche MV-TMM consacrée à la capture des informations de traçabilité. La suite de la section montre les résultats obtenus dans le projet STG par application des stratégies de la figure 17.

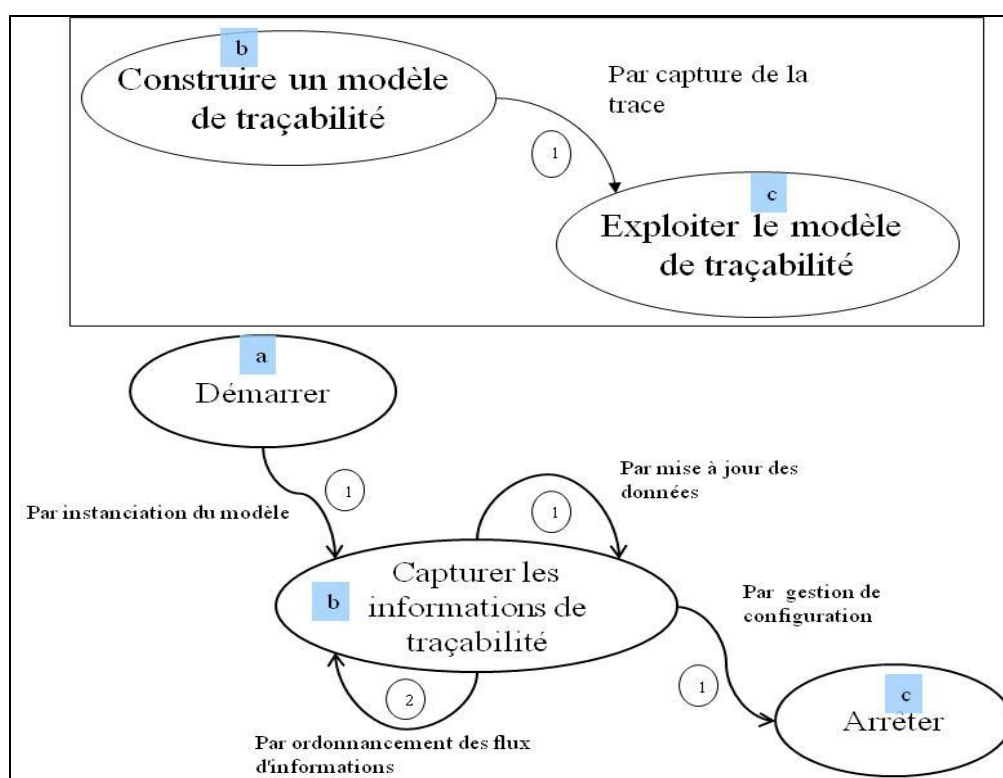


Figure 26: Partie de la carte MAP de capture des informations de traçabilité

5.1.1 Instanciation du modèle de traçabilité

La carte de la figure 26 propose comme première stratégie de capture des informations de traçabilité, l'instanciation du modèle de traçabilité du projet STG (stratégie $S_{bc1.ab1}$).

L'instanciation consiste à créer des instances des éléments du modèle de traçabilité suivant le contexte du projet. Par exemple, l'instance du livrable décrivant le besoin Marketing du projet STG correspond au Cahier d'Expression de besoin Marketing (CEBM). Les valeurs d'attributs du CEBM sont par exemple caractéristique, valeur technique, flexibilité, etc. En revanche, dans un autre projet de l'entreprise STAGO, nous parlons uniquement de CEB car le besoin ne provient pas du département Marketing et les attributs sont différents.

Nous avons appliqué les directives associées à la stratégie $S_{bc1.ab1}$ dans le contexte du projet STG. La figure 27 présente l'instance du fragment FMT1. Les autres fragments du modèle de traçabilité du projet STG ont été obtenus de la même façon.

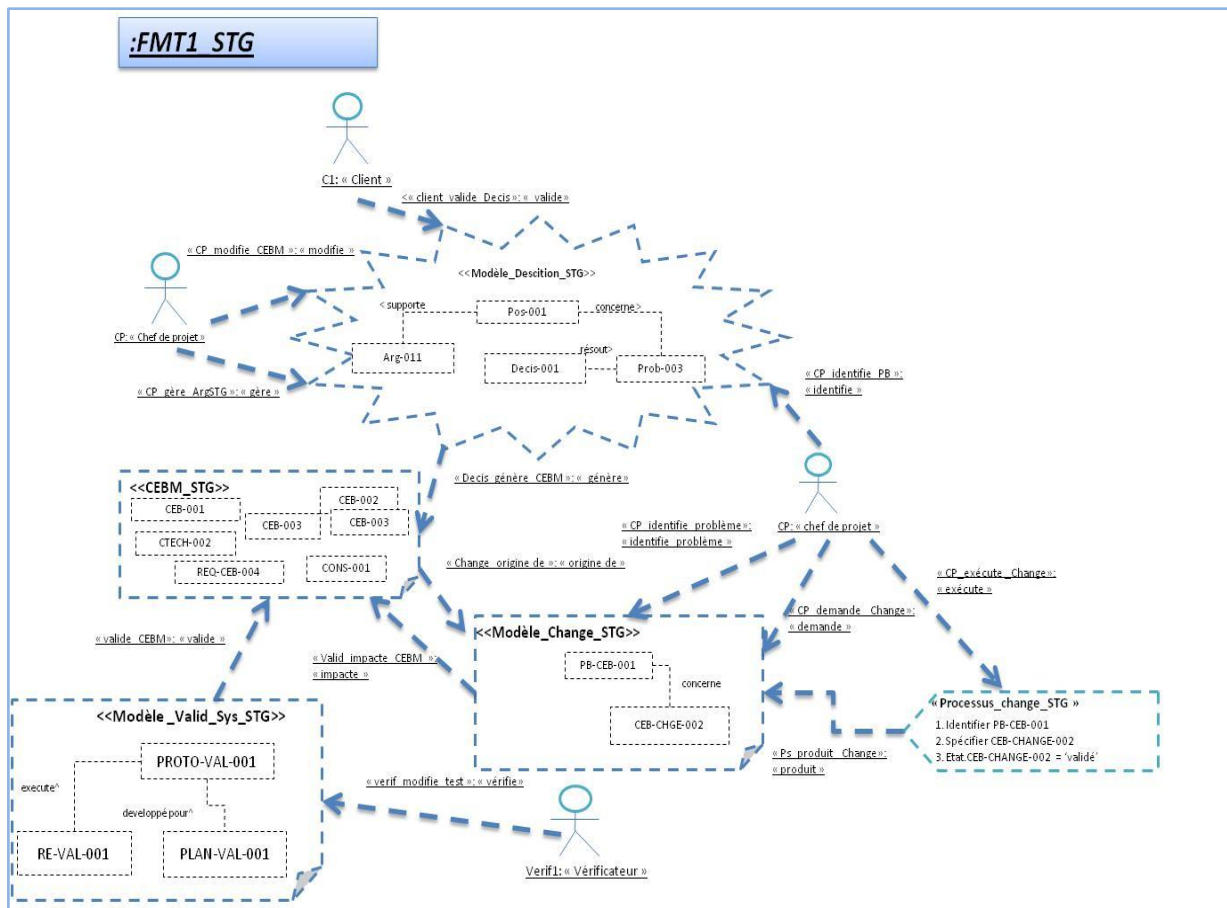


Figure 27: Instance du modèle de traçabilité de STG

5.1.2 Ordonnancement des flux

La stratégie d'ordonnancement des flux consiste à établir un ordre de capture des informations de traçabilité. En effet, les éléments présents dans le modèle de la figure 27 proviennent de plusieurs sources (ou outils). Ainsi, la capture de certaines informations dépend de l'état des autres informations (comme par exemple dans le cas de création des liens de traçabilité qui nécessite des éléments source et destination).

De plus, certaines informations sont capturées de façon manuelle et d'autres par interaction avec d'autres outils. La stratégie $S_{bc1.bb2}$ de la démarche MV-TMM guide la définition des informations nécessaires pour gérer le flux des données de traçabilité.

Le tableau 3 montre une partie des résultats de l'application de la stratégie $S_{bc1.bb2}$. Il montre uniquement l'ordre et le type d'enregistrement des informations. L'aspect scénario d'interaction entre les éléments n'est pas décrit dans le cas du projet STG, car il est spécifique à la base DOORS de traçabilité.

Livrable	Ordre d'enregistrement	Type d'enregistrement
CEBM	1	Manuelle
CDCF	2	Semi-automatique
Architecture Produit	3	Manuelle
STB système	4	Manuelle
STB module	5	Manuelle
SRS Software & Firmware	6	Automatique
Plan d'intégration	7	Semi-automatique
Plan de vérification	8	Semi-automatique
Plan de validation	9	Semi-automatique
STD Software	10	Automatique
STD Hardware	11	Semi-automatique

Tableau 3: Ordonnancement de la capture des informations de traçabilité

5.1.3 Mise à jour des données de traçabilité

Rappelons que la capture des informations de traçabilité par mise à jour peut être réalisée de plusieurs manières qui sont d'ailleurs proposées par les directives associées à la stratégie $S_{bc1.bb1}$ de la carte MV-TMM: manuelle, automatique, semi-automatique.

Dans le projet STG les informations du CEBM et de la spécification logicielle sont modifiées manuellement dans la base DOORS. En revanche, le CDCF, les plans d'intégration, les plans de vérification et de validation sont modifiés d'une façon semi-automatique par interaction avec l'outil d'analyse fonctionnelle APTE, à savoir TDC Needs [TDC Needs, 08].

Les informations capturées automatiquement proviennent des outils de conception ou de gestion utilisés dans le projet, par exemple, pour la gestion des anomalies des plans de test. Ils nécessitent un traitement particulier par des développements ou paramétrage suivant la base donnée de traçabilité.

5.2 Exploitation des informations de traçabilité

La figure 28 montre la partie de la carte MV-TMM permettant l'exploitation des informations de traçabilité. Nous allons montrer dans la présente section un exemple d'application des stratégies de cette carte.

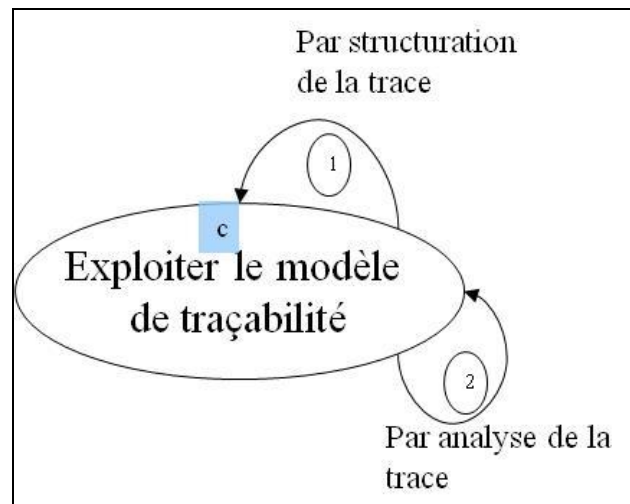


Figure 28: Partie de la carte MV-TMM d'exploitation des informations de traçabilité

5.2.1 Préparation de l'usage

La préparation de l'usage des informations consiste à structurer et classifier les informations de traçabilité capturées afin de faciliter leur exploitation. La démarche MV-TMM propose la stratégie S_{cc1} pour guider ce travail d'organisation des informations de traçabilité capturées.

Le regroupement des informations par sujet d'intérêt, par type d'utilisation ou suivant un point de vue est un exemple de résultat obtenu par application des directives associées aux stratégies précédentes. Dans le projet STG, nous avons choisi de regrouper les données de traçabilité suivant leur type d'usage envisagé : historique des évolutions, comparaison entre version, planification des travaux du projet, justification, historique des contributions.

5.2.2 Analyse quantitative et qualitative des données

La démarche MV-TMM propose d'analyser les informations de traçabilité de deux manières : par réalisation de statistiques sur le volume des données de traçabilité (analyse quantitative) ou par le suivi de la qualité de gestion du projet (analyse qualitative).

Le tableau 4 montre un exemple d'attributs décrivant l'analyse quantitative des informations de traçabilité. Il est obtenu par application de la stratégie S_{cc2} de la démarche MV-TMM. Le but de l'analyse de la trace du tableau 4 est la détermination de l'état des exigences issues de la spécification des composants systèmes du projet STG.

Caractéristique de l'analyse	Valeur
Type de l'analyse	Analyse quantitative
Objectif de l'analyse	Déterminer l'état des exigences systèmes par composants

Données d'entrée	STB système, Architecture Produit, Plan de vérification
Éléments du modèle de traçabilité nécessaire	Attribut: Identifiant des exigences système Attribut: état des exigences système Attribut: identifiant des composants système Attribut: état des tests de vérification Lien: le lien « alloué à », « vérifie »
Tableau des résultats	Cf. tableau 10
Graphe des résultats	Cf. figure 17
Interprétation des résultats	Les modules 11200 et 11220 contiennent plusieurs exigences non encore justifiées tandis que les exigences des autres modules sont presque tenues à 90%

Tableau 4: Modèle d'analyse des informations de traçabilité

Pour répondre à l'objectif d'analyse « déterminer l'état des exigences systèmes par composants » nous avons exploité les données de traçabilité suivantes :

- Attribut = Identifiant des exigences du livrable "STB système"
- Attribut = Etat des exigences du livrable "STB système"
- Attribut = Identifiant des composants du livrable "Architecture produit"
- Attribut = Etat des tests du livrable "Plan de vérification"
- Lien de traçabilité= «alloué à» et «vérifie»

Le résultat du calcul statistique effectué sur les données de traçabilité est présenté dans le tableau 5:

Composant ->	11100	11200	11210	11220	11230
Nombre des exigences	220	50	20	75	80
Nombre des exigences tenues (T)	200	25	18	30	70
Nombre des exigences non tenues (NT)	10	5	2	5	2
Nombre des exigences non encore justifiées (NEJ)	10	15	0	25	3
Nombre des exigences non bloquantes (NB)	0	5	0	15	5

Tableau 5: Etat des exigences des composants système du STG

La figure 29 montre une autre manière d'afficher les résultats via un graphe

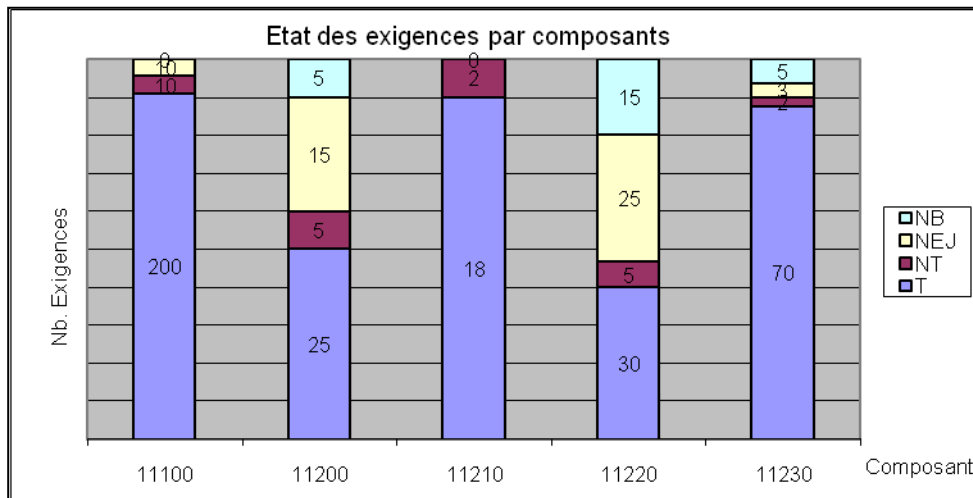


Figure 29: Etat des exigences par composants système

5.2.3 Analyse d'impact

L'analyse d'impact aide à la recherche des informations du modèle de traçabilité qui sont impactées après la modification d'une autre information. L'analyse d'impact est obtenue à travers l'exploitation des liens de traçabilité entre les différentes informations du modèle.

Les flèches « impacte » de la figure 30 illustre les éléments impactés après la modification d'une spécification « CEBM » par le client du projet STG, à savoir les spécifications « CDCF », « STB système » et les « STB logicielle ». Ces flèches sont utilisés pour illustrer les éléments impactés mais ne sont pas des liens de traçabilité.

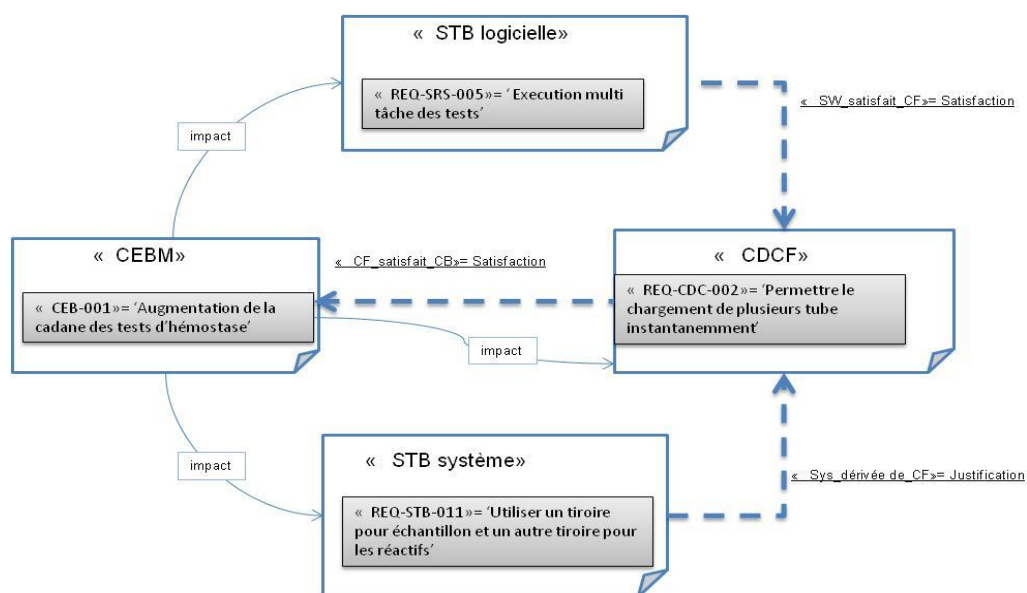


Figure 30: Exemple d'analyse d'impact

5.3 Arrêter le processus de la carte MV-TMM par analyse de la valeur

L'analyse de la valeur consiste à déterminer la valeur ajoutée des informations de traçabilité ainsi que leur apport dans le projet STG. Elle propose d'établir des moyens de mesure associés à chaque besoin de traçabilité afin de pouvoir mesurer les avantages effectifs de la traçabilité dans le projet. La stratégie S_{bc1} arrête le processus de la carte MV-TMM par une analyse de cette valeur.

Le tableau 6 montre un exemple de moyens de mesure qui ont permis la détermination de la valeur ajoutée des informations de traçabilité vis-à-vis du projet STG. Chaque moyen est relatif à un objectif projet issu du besoin de traçabilité initial.

Le calcul du « *temps moyen de recherche d'information sur les livrables et leurs liens* » par exemple, permet de déterminer si le coût du processus de développement a diminué par rapport à la situation d'avant le déploiement de la traçabilité.

Objectif	Moyen de mesure de la valeur ajoutée
Diminuer le coût développement des systèmes	- Temps moyen de recherche d'information sur les livrables et leurs liens (1/5)
Augmenter la conformité aux normes et standards	- Comparaison du processus projet avec les normes de maturité (CMMi, DoD, etc.) (égale au niveau 3 du CMMi)
Communication efficace entre les membres du projet	- Temps de gestion des communications passé dans un projet (réduction de 1/2) - Temps moyen de vérification des exigences et leurs origines (1/4) - Efficacité du processus d'ingénierie
Adaptation rapide aux changements des clients	- 60% de succès de l'implémentation des changements - Impact du changement sur la planification projet (1/6)
Minimisation du taux d'échec des exigences	- Taux d'échec des exigences (1/3)
S'assurer que les exigences ont été correctement implémentées dans la conception, le développement et le test	- Matrice de traçabilité
Suivi de projet	- Exactitude de la variation du planning projet - Exactitude de la variation du coût de projet

Tableau 6: moyen d'analyse de la valeur ajoutée des informations de traçabilité

6 Discussions sur la validité des hypothèses

Dans cette section nous présentons notre démarche de validation des hypothèses que nous avons introduites au chapitre 1. Cette validation a été basée sur des observations empiriques et des discussions avec les différents membres des projets de l'entreprise STAGO.

Notre expérimentation de l'approche MV-TMM ne s'est pas limitée au projet STG, nous l'avons appliqué dans d'autres projets de l'entreprise qui n'ont pas les mêmes caractéristiques. En effet, les projets de l'entreprise STAGO sont classés en trois catégories : projet de création d'une nouvelle gamme d'instruments, projet de maturation Hardware et projet de maturation Software.

Le projet STG est un exemple de projet de création d'une nouvelle gamme d'instrument chez STAGO. Ce genre de projets est complexe, multi disciplinaires et dure longtemps. Un projet de maturation Hardware se préoccupe de l'évolution de gamme d'instruments existants principalement au niveau mécanique et électronique. Ce genre de projets sont aussi multi disciplinaires mais avec une moindre complexité car il s'agit globalement de corriger et adapter un système matériel existant. Un projet de maturation Software traite les évolutions logicielles concernant le système de pilotage des instruments. Ce genre de projets impactent peu l'infrastructure matérielle et font intervenir principalement des spécialistes du logiciel.

A travers les projets de l'entreprise STAGO nous avons pu vérifier les différentes hypothèses que nous avons introduites au début de ce chapitre. En effet, comme illustré dans le cas STG, notre méta modèle MV-TMM nous a permis de tracer l'ensemble des informations de traçabilité que nous avons identifiées. Les informations de traçabilité spécifiques à chaque projet ont été décrites en se basant sur la particularité de chaque catégorie des projets. Les projets de maturations logicielles se distinguent des projets de maturation Hardware par la nature très détaillée des informations demandées par les responsables logiciels. Les projets de nouvelle gamme d'instrument se distinguent de ces deux catégories de projets par la prise en compte des processus de l'entreprise et par la complexité du cycle de développement projet.

De la même manière, nous avons constaté dans les trois catégories des projets de l'entreprise STAGO que le méta modèle MV-TMM a permis la prise en compte des différents points de vue des membres de chaque projet. Globalement, selon nos observations sur le terrain et selon les avis récoltés durant le déroulement des projets lors de réunions informelles d'évaluation, les modèles conçus ont été satisfaisants à chacun selon son niveau d'intervention. Ce constat confirme notre deuxième hypothèse.

En parallèle, notre modèle de processus a été considéré comme un atout de notre approche car les membres de chaque catégorie des projets de STAGO ont été guidés dans chaque étape du processus de conception des modèles de traçabilité. Ils ont considéré que les stratégies de guidage pour l'exploitation des informations de traçabilité leurs facilitent l'usage des informations capturées. En effet, plusieurs personnes n'étaient pas convaincu de l'utilité de la traçabilité des exigences en raison de la méconnaissance de son utilité. Mais en appliquant les directives de guidage que nous avons proposées dans la démarche MV-TMM, ils ont pu appliquer sans trop de difficultés les étapes de la démarche et mesurer ainsi la valeur ajoutée de la traçabilité dans un projet. Ce dernier constat confirme notre troisième hypothèse.

7 Conclusion

Dans le présent chapitre nous avons montré un exemple d'application de la démarche MV-TMM dans un projet industriel. Ce dernier, nommé STG, avait pour objectif le développement d'une machine électronique d'analyse de l'hémostase.

Le processus de développement du projet STG est complexe car il fait intervenir plusieurs métiers et diverses connaissances scientifiques. Nous avons maîtrisé sa complexité en traçant les informations produites ou utilisées par les membres du projet.

L'application de la démarche MV-TMM a montré l'importance des stratégies proposées ainsi que l'aspect multi chemins et affinement qui caractérisent les modèles de processus basés sur la carte MAP.

Une analyse rétrospective de cette application a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La capture du besoin est un préalable important avant la conception d'un modèle de traçabilité d'un projet. Notre démarche propose plusieurs alternatives qui répondent aux différentes situations des projets de développement. Chaque processus de capture de besoin doit démarrer par une analyse du contexte du projet dans le cas d'absence de besoin préalable.
- Le modèle de traçabilité peut être différent suivant le besoin et les multiples points de vue d'usage des informations de traçabilité dans un projet. Le choix d'orienter la conception des modèles de traçabilité suivant les points de vue permet une prise en compte complète des besoins de traçabilité.

- Le mécanisme d'abstraction dans l'approche MV-TMM permet de modéliser d'une façon globale le problème de traçabilité. Et le méta modèle MV-TMM fournit les éléments nécessaires pour la modélisation de divers types d'informations de traçabilité dans un projet. C'est le contexte du projet qui donne une sémantique aux éléments du méta modèle MV-TMM.
- L'utilisation du concept de fragment de modèle de traçabilité (FMT) permet la décomposition de la complexité d'un modèle de traçabilité générique en des parties de modèle simples à représenter.
- Le processus d'exploitation des informations de traçabilité présente un intérêt particulier car il guide les utilisateurs finaux des informations de traçabilité à exploiter correctement et d'une façon pertinente les données de traçabilité. L'analyse de la valeur ajoutée de ces données permet de critiquer leurs apports vis à vis du projet.
- L'aspect déploiement du modèle de traçabilité dans un environnement logiciel n'est pas traité dans le cadre de cette thèse. Il pourra faire l'objet d'une autre thèse. Cependant nous avons présenté des directives qui guident l'implémentation d'un modèle.

CHAPITRE 6

FONCTION D'EVALUATION ORIENTEE COUT/VALEUR DU BESOIN DE TRAÇABILITE

1 Introduction

Dans ce chapitre nous abordons un problème lié au volume d'informations générées par application de la démarche MV-TMM. En fait, Cette dernière guide la création d'un modèle de traçabilité qui satisfait les membres d'un projet. Cependant, l'aspect coût de déploiement du modèle n'est pas abordé avec plus de détail. En effet, la section C.bb1 de la carte MV-TMM propose d'optimiser le modèle de traçabilité par analyse du coût et de la valeur des informations de traçabilité.

Nous avons alors cherché une solution de filtrage et de sélection pour s'adapter, encore plus, au contexte d'un projet et faire émerger un modèle de traçabilité qui représente un compromis adéquat entre le coût et la valeur de l'effort de traçabilité.

Nous proposons une solution qui aide les parties prenantes dans un projet à identifier le sous-ensemble des informations à tracer de telle manière à maximiser la valeur ajoutée et minimiser le coût d'exploitation. La démarche proposée repose sur le calcul du rapport entre une estimation du coût et celle de la valeur de tous les besoins de traçabilité pour choisir un modèle de traçabilité optimal. Elle complète le méta modèle de traçabilité MV-TMM développé précédemment et utilise la méthode de priorisation des besoins AHP.

Le coût est relatif aux efforts nécessaires pour capturer, exploiter et maintenir les informations de traçabilité. La valeur est relative à l'importance de ces informations et au bénéfice escompté pour les différents acteurs d'un projet.

La suite de ce chapitre se présente comme suit: La section 2 présente un bref rappel de la méthode AHP pour l'estimation du coût et de la valeur dans l'ingénierie des besoins et que

nous avons adapté à notre problématique (Karlson et al. 97). La section 3 présente le processus d'évaluation coût/valeur que nous avons développé: estimation de la valeur des besoins de traçabilité, et estimation du coût des besoins de traçabilité à l'aide d'une métrique élaborée de manière empirique. La section 4 est une étude de cas qui décrit un exemple d'application de notre approche au sein de l'entreprise STAGO. La section 5 conclut le chapitre en discutant sur l'apport et le positionnement de notre travail et en évoquant ses perspectives futures.

2 Rappel de la méthode AHP

La méthode AHP a été développée par T. Saaty (Saaty, 80). Elle a été initialement appliquée dans le domaine d'ingénierie logicielle (Karlsson, 96), (Karlsson et al., 97). C'est une méthode de prise de décision dans des situations où l'on doit choisir entre plusieurs besoins dont l'importance pour l'utilisateur et le coût de développement sont variables et peuvent présenter de grands écarts. Un utilisateur peut exprimer le besoin d'une fonctionnalité dont le coût de réalisation est très élevé alors que l'apport de cette fonctionnalité sera minimal. A l'inverse, une fonctionnalité facilement réalisable peut avoir une très grande importance pour les utilisateurs finaux. La méthode AHP permet d'établir une priorisation des besoins selon le rapport entre le coût estimé de réalisation d'un besoin et son importance.

La méthode utilise des matrices de "combinaison binaire" pour calculer le coût et la valeur des besoins. Le processus d'évaluation est composé de deux phases principales pour prioriser les besoins suivant le couple coût/valeur :

- Application de la matrice de 'combinaison binaire' par les membres d'un projet pour estimer la valeur relative et le coût d'implantation de chaque besoin.
- Grâce à une représentation des résultats sous la forme d'un diagramme coût/ valeur, les responsables d'un projet établissent un ordonnancement des besoins et choisissent ceux ayant le meilleur rapport coût/valeur.

Nous avons choisi d'utiliser la méthode AHP car elle permet d'obtenir une appréciation facile de chaque évaluation. De plus, elle guide ses utilisateurs dans les différentes étapes de calcul.

Pour plus de détail sur la méthode voir l'annexe.

3 Le processus d'évaluation coût/valeur

La figure 1 montre les différentes étapes de notre processus d'évaluation. Il est composé de deux chemins distincts qui peuvent être faits séparément: le premier chemin (à droite) consiste à évaluer chaque besoin de traçabilité selon sa valeur, tandis que le deuxième chemin (à gauche) permet l'évaluation de son coût.

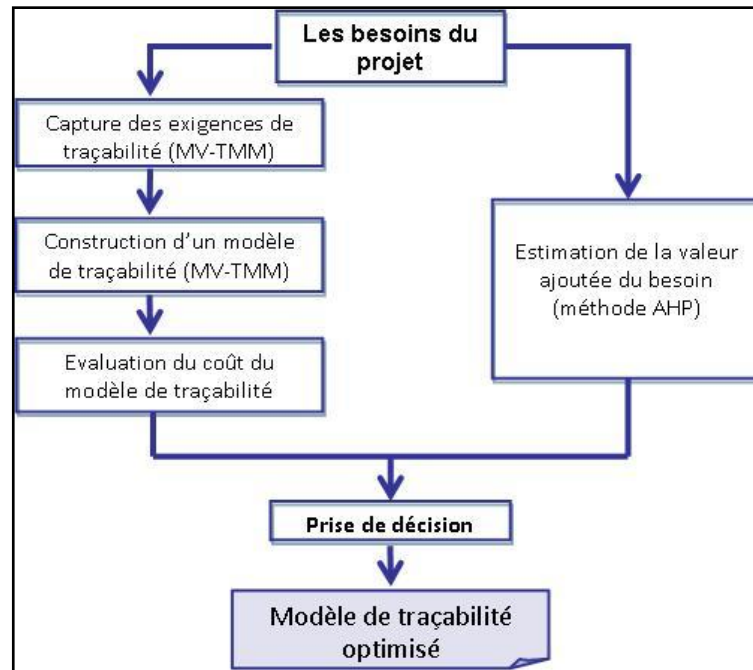


Figure 1 : Processus d'évaluation coût/valeur des besoins de traçabilité

L'évaluation de la valeur d'un besoin de traçabilité est faite par les acteurs du projet. Elle se fait par application directe des matrices de combinaison binaires de la méthode AHP. En revanche, l'évaluation du coût du besoin de traçabilité nécessite un traitement avancé. Le besoin de traçabilité est traduit en termes d'exigences de traçabilité et aboutit à la construction d'un modèle qui satisfait tous les besoins exprimés. L'estimation du coût des besoins de traçabilité revient ensuite à évaluer le coût d'implantation et de gestion des éléments composant ce modèle. Alors que dans la méthode AHP la phase d'évaluation des coûts se fait directement par les experts logiciels, elle nécessite dans notre approche une phase intermédiaire de construction de modèle qui va guider l'estimation du coût.

3.1 Estimation de la valeur des besoins de traçabilité

L'estimation de la valeur d'un besoin de traçabilité consiste à donner des valeurs relatives à chaque besoin afin de mesurer son importance par rapport aux autres besoins de traçabilité. Le

tableau 1 introduit les mesures proposées par la méthode AHP pour la détermination de la valeur de chaque besoin par rapport aux autres.

Valeur	Interprétation
1	Les exigences i et j ont une valeur égale.
3	L'exigence i a une valeur peu élevée par rapport à celle de j.
5	L'exigence i a une valeur plus élevée que celle de j.
7	L'exigence i a une valeur très élevée par rapport à celle de j.
9	L'exigence i a une valeur extrêmement élevée par rapport à celle de j.
2, 4, 6, 8	Ce sont des valeurs intermédiaires entre les valeurs impaires
Réciproques	Si la valeur de i est moins élevée que j

Tableau 1 : Métrique pour comparer les valeurs relatives de deux besoins

Les membres du projet construisent une matrice ayant une ligne et une colonne pour chaque besoin de traçabilité. Cette matrice de "combinaison binaire" est ensuite complétée par les valeurs du tableau 1 au niveau de chaque intersection ligne i et colonne j ($i \neq j$). La matrice subit par la suite plusieurs transformations avant d'aboutir à la valeur absolue de chaque besoin vis-à-vis du projet. Ce processus de transformation sera illustré brièvement dans l'étude de cas.

3.2 Estimation du coût des besoins de traçabilité

Le coût d'un besoin est estimé en se basant sur un modèle de traçabilité qu'il faut construire. Ce modèle est obtenu par instanciation du méta modèle MV-TMM. L'estimation du coût des besoins de traçabilité revient ainsi à estimer le coût d'implantation des éléments du modèle de traçabilité obtenu. Cette estimation est construite par addition des coûts individuels de chaque élément du modèle.

Le coût d'une information de traçabilité dépend de la catégorie et de la nature de celle-ci. Une information relative à un livrable est moins coûteuse à gérer et à maintenir qu'une information de traçabilité de type justification. Ce coût dépend aussi de la nature de l'information (tel que formel/informel), de la manière avec laquelle l'information est enregistrée (telle que automatiquement/manuellement), de la fréquence de modification (telle que élevée/faible), etc. Ces différents facteurs affectant le coût d'une information de traçabilité ont été signalés dans plusieurs travaux existants sur la traçabilité (Gotel et al., 97) (Pohl et al., 99) (Ramesh et al., 01) (Antoniol et al., 02) (Hayes et al., 03) (Cleland-Huang et al., 03).

Le tableau 2 présente une codification sur une échelle de 1 à 9 des différentes composantes de coût pour chaque catégorie d'information de traçabilité. Les cinq catégories d'information correspondent aux éléments génériques de traçabilité définis dans le méta modèle MV-TMM. La construction de ce tableau a été faite d'une manière empirique dans le cas du projet STG au sein de l'entreprise STAGO. Les valeurs indiquées sont spécifiques au contexte technique et méthodologique de ce projet. Ils dépendent en effet des outils utilisés dans le processus de conception et de développement ainsi que du processus lui-même et des artefacts générés et manipulés par celui-ci.

Le coût associé à un aspect particulier d'une catégorie d'information peut être très variable. Par exemple, une information de justification qui est de nature informelle est considérée comme ayant un coût plus élevé (+5) que le coût d'une information de même nature pour une information de catégorie livrable (+3). Ces variations sont dues à la nature intrinsèquement distincte des catégories d'information.

Catégorie d'information	Attributs de l'information	Qualification (+coût) de l'attribut		
Livrable	Nature du livrable	Formel (+1)	Semi formel (+2)	Informel (+3)
	Type d'enregistrement	Manuel (+1)	Semi-auto (+2)	Auto (+3)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+4)	Important (+7)
Justification	Nature de la justification	Formel (+1)	Semi-Formel (+3)	Informel (+5)
	Type d'enregistrement	Manuel (+1)	Semi-auto (+2)	Auto (+5)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+4)	Important (+7)
Configuration	Fréquence des modifications	Faible (+2)	Moyenne (+3)	Elevé (+4)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+3)	Important (+5)
Processus	Complexité du processus	Séquentiel (+5)		Multi-chemin (+7)
	Type d'enregistrement	Manuel (+3)	Semi-auto (+5)	Auto (+7)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+5)	Important (+9)
Lien de traçabilité	Type d'enregistrement	Auto (+3)	Semi-auto (+5)	Manuel (+7)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+5)	Important (+7)

Tableau 2: Métrique pour l'estimation du coût

4 Exemple d'application

Cette section présente l'application de notre processus d'évaluation du besoin dans le cadre du projet STG de l'entreprise STAGO.

4.1 Capture du besoin

La première étape de notre processus d'évaluation consiste à capturer le besoin du projet. La démarche MV-TMM propose des directives pour aider à la capture de ce besoin. Nous exploitons les résultats obtenus dans le chapitre de l'étude de cas.

Pour simplifier la compréhension de l'évaluation des besoins nous utilisons quelques besoins de cette étude de cas. Le tableau 3 illustre les exigences sélectionnées pour notre évaluation.

Id	Besoin de traçabilité	Origine
B1	Vérifier que toutes les exigences clients ont été tenues	Chef de projet
B2	S'assurer que le besoin est correctement implémenté	Chef de projet
B3	S'assurer que les exigences ont été allouées aux composantes du système	Architecte
B4	Vérifier la cohérence entre les interfaces des composantes	Architecte
B5	Avoir une justification des choix de conception	Ingénieur de la qualité
B6	Connaître l'origine de chaque exigence	Ingénieur de la qualité
B7	Mesurer la progression du développement	Sponsor
B8	Adaptation rapide vis-à-vis des changements du besoin clients	Chef de projet
B9	Suivi du processus de prise de décision	Ingénieur de la qualité

Tableau 3 : Besoin des responsables du projet

4.2 Evaluation de la valeur du besoin

L'évaluation de la valeur du besoin est obtenue par application directe de la méthode AHP. Elle consiste à remplir la matrice de "combinaison binaire" en comparant les valeurs entre les besoins (tableau 4). Les responsables peuvent remplir la matrice dans n'importe quel ordre. La matrice a une forme symétrique, c'est-à-dire, qu'à chaque valeur dans les cellules de la matrice correspond une valeur réciproque. Les valeurs des couples $(B_i, B_i) \{i = 1, 2 \dots 9\}$ sont égales à 1.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	1	1/3	6	8	5	9	7	4	6
B2	3	1	5	7	4	8	6	3	5
B3	1/6	1/5	1	3	1/3	5	1/7	1/9	1/4
B4	1/8	1/7	1/3	1	1/3	1/5	3	1/6	4
B5	1/5	1/4	3	3	1	2	4	1/5	6
B6	1/9	1/8	1/5	5	1/2	1	3	1/4	5
B7	1/7	1/6	7	1/3	1/4	1/3	1	5	4
B8	1/4	1/3	9	6	5	4	1/5	1	2
B9	1/6	1/5	4	1/4	1/6	1/5	1/4	1/2	1

Tableau 4: Matrice "comparaison binaire" de la méthode AHP

La matrice de "combinaison binaire" subit plusieurs transformations avant l'établissement de la valeur du besoin. A partir des informations obtenues des tableaux intermédiaires, la méthode AHP calcule la valeur de chaque besoin en divisant les valeurs de la colonne "Somme des colonnes" par le nombre de colonnes comme le montre le tableau 7 (9 colonnes dans notre cas).

Un besoin avec une valeur de 0,06 correspond à un pourcentage de 6% sur le total des besoins.

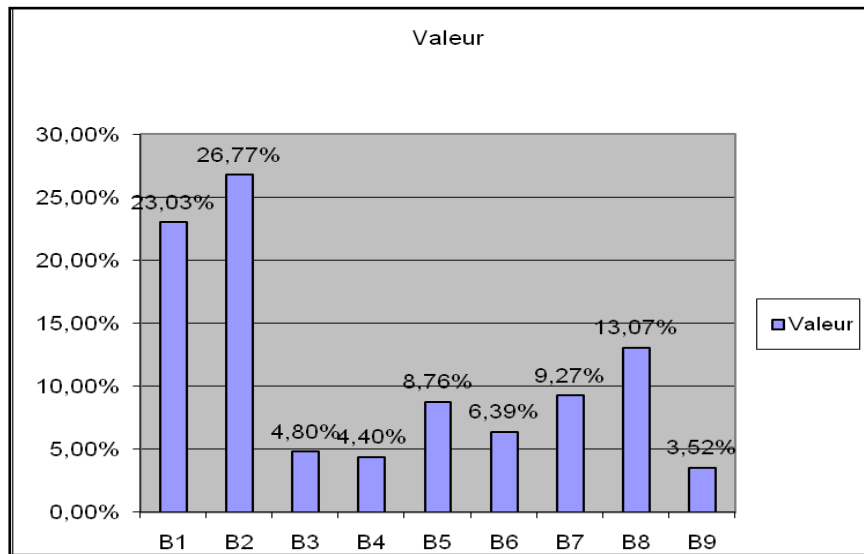


Figure 2: Valeur relative de chaque besoin

La figure 2 montre sous la forme d'un graphe la valeur de chaque besoin par rapport aux autres besoins. On voit aisément par exemple que le besoin B2 ("s'assurer que le besoin est correctement implémenté") est celui qui est jugé comme étant le plus important, alors que le besoin B9 ("suivi du processus de prise de décision") est jugé comme étant le moins important.

4.3 Evaluation du coût du besoin

L'évaluation du coût est un processus composé de trois étapes :

- La traduction du besoin projet en termes d'exigences de traçabilité,
- La construction d'un modèle de traçabilité
- La mesure du coût d'implémentation des éléments du modèle de traçabilité.

4.3.1 Traduction du besoin en exigences

La traduction du besoin projet en exigences de traçabilité est obtenue par application de la directive stratégique S4 proposé par la démarche MV-TMM. Cette directive propose des directives pour aider à la décomposition des besoins en exigences. Prenons par exemple le besoin B2 du Chef de projet ("S'assurer que le besoin des clients est correctement implémenté"). Le chef de projet est à l'origine de ce besoin, il souhaite avoir un moyen pour s'assurer que le besoin de ces clients est correctement implémenté.

Les experts de traçabilité appliquent la section $C_{ab1.bb3}$ de la démarche MV-TMM et traduisent ce besoin en proposant deux exigences de traçabilité :

- **Treq2**: Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté.
- **Treq3**: Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement).

Cette traduction du besoin en exigences de traçabilité aide les experts de traçabilité à donner une signification plus claire du besoin dans la terminologie de leur domaine.

Le tableau 5 montre la liste des exigences obtenues après la traduction de chaque besoin.

Besoin	Exigence de traçabilité
B1	Treq1 : Capturer les informations de traçabilité permettant la vérification de l'état des exigences des clients
B2	Treq2 : Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté Treq3 : Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement)
B3	Treq4 : Créer une relation d'allocation entre les exigences et les composantes du système
B4	Treq5 : Créer une relation de dépendance entre les interfaces des composantes du système
B5	Treq6 : Capturer les informations de justification des choix de conception
B6	Treq7 : Capturer les informations de justification de l'origine de chaque exigence
B7	Treq8 : Capturer les informations sur l'évolution des différents livrables du projet.
B8	Treq9 : Capturer les informations de gestion des changements du besoin client
B9	Treq10 : Enregistrer les étapes et les livrables associés aux processus de prise de décision dans le projet.

Tableau 5 : Traduction du besoin projet en exigences de traçabilité

4.3.2 Construction du modèle de traçabilité

A partir des exigences de traçabilité identifiées dans la section précédente, nous pouvons déduire la liste des informations de traçabilité nécessaire pour construire un modèle de traçabilité. L'expert de traçabilité doit sélectionner les informations de traçabilité qui répond à chaque exigence parmi les cinq catégories d'information proposé par le méta modèle de la démarche MV-TMM (Livrable, Processus, Acteur, Justification, Configuration).

Dans le cas de l'exigence Treq2, les informations de traçabilité seront par exemple :

- Livrable : Plan de test, Rapport d'essai
- Lien : Besoin client -> Plan test, Plan de test -> Rapport d'essai

Le tableau 6 montre les informations de traçabilité issues de chaque exigence de traçabilité (les exigences de traçabilité sont identifiées par TreqNuméro).

Exigence	Catégorie d'information de traçabilité associée à l'exigence		
Treq1	Livrable	Attribut	
	Besoin client	Statut	
Treq2	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Plan de test, Rapport d'essai	Besoin client -> Plan test Plan de test -> Rapport d'essai	
Treq3	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Spécification, Conception, Code source SW, Plan HW	Besoin -> Spécification, Spécification-> Conception, Conception-> Code source, Conception-> Plan HW	
Treq4	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Composantes système	Besoin client-> Composantes système	
Treq5	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Interface, Composante	Interface -> Composante, Interface-> Interface	
Treq6	Justification	Lien (source -> destination)	
	Preuve	Preuve-> Conception	
Treq7	Justification	Lien (source -> destination)	
	Origine	Exigence-> Origine	
Treq8	Lien (source -> destination)		
	Livrable -> Livrable		
Treq9	Evolution	Lien (source -> destination)	
	Changement	Changement -> Livrable	
Treq10	Processus	Justification	Lien (source -> destination)
	Processus de décision	Décision	Processus de décision -> Décision, Décision -> Livrable

Tableau 6: Informations de traçabilité issues des exigences

La construction du modèle de traçabilité est un processus qui consiste à regrouper l'ensemble des informations de traçabilité dans un modèle générique du projet. Nous avons appliqué la stratégie $S_{ab1.cc2}$ de la démarche MV-TMM afin de construire ce modèle sur un seul fragment.

La figure 3 montre le résultat obtenu en assemblant les différentes informations du tableau 6. La notation graphique utilisée pour la description du modèle est citée dans la légende.

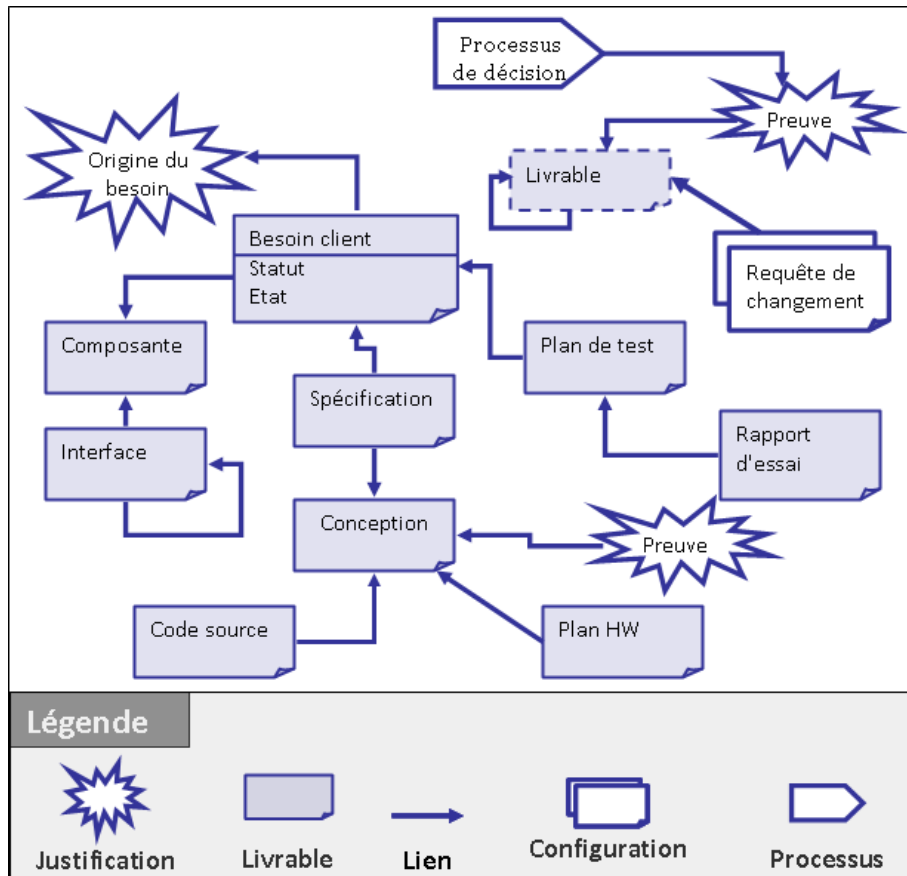


Figure 3: Modèle de traçabilité non optimisé

4.3.3 Calcul du coût du modèle de traçabilité

Sur la base des informations obtenues dans les étapes précédentes, un spécialiste de traçabilité est capable de déterminer le coût de chaque élément du modèle de traçabilité.

Les valeurs affectées au coût de chaque élément sont définies dans le tableau 2. L'addition des coûts unitaires associés aux éléments de chaque exigence de traçabilité permet la détermination du coût de chaque besoin.

Le tableau 7 montre le résultat obtenu pour le calcul du coût du besoin.

Besoin	Exigence de traçabilité	Information de traçabilité	Coût unitaire	Coût Total
B1	Treq1	Besoin client	3	3
B2	Treq2	Plan de test	5	8
		Rapport d'essai	3	
	Treq3	Spécification	5	29
		Conception	7	
		Code source	11	
		Plan HW	6	
B3	Treq4	Composante	1	1
B4	Treq5	Interface	1	1
B5	Treq6	Preuve	4	4
B6	Treq7	Origine	2	2
B7	Treq8	Lien	9	9
B8	Treq9	Changement	5	5
B9	Treq10	Décision	3	12
		Processus de décision	9	

Tableau 7: Evaluation du coût des besoins de traçabilité

La figure 4 montre un graphe qui représente le pourcentage du coût de chaque besoin par rapport aux autres besoins.

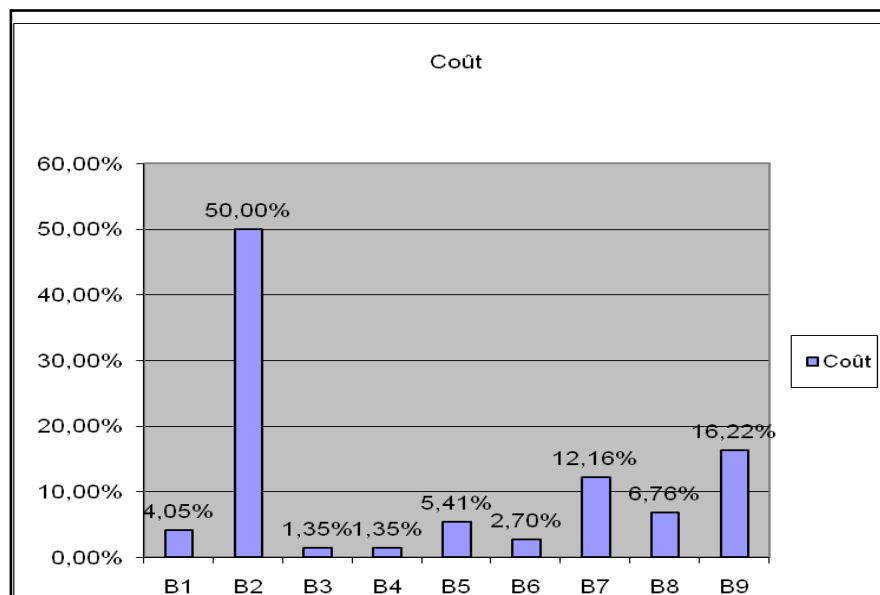


Figure 4: Pourcentage du coût de chaque besoin

4.3.4 Prise de décision

L'étape finale du processus d'évaluation du coût et de la valeur des besoins de traçabilité consiste à représenter les deux mesures de coût et de valeur dans un seul graphe. Ce dernier guide les responsables du projet pour faire un choix sur les besoins les mieux adaptés à leurs situations, c'est-à-dire, qui ne dépassent pas les contraintes de coût et de la valeur associés au projet.

La prise de décision correspond donc à un choix sur la base des informations obtenues par application de notre solution. La figure 5 montre un graphe de l'ensemble des besoins représentés avec le couple (coût, valeur). Le graphe permet donc de visualiser le coût et la valeur de chaque besoin par rapport aux autres besoins.

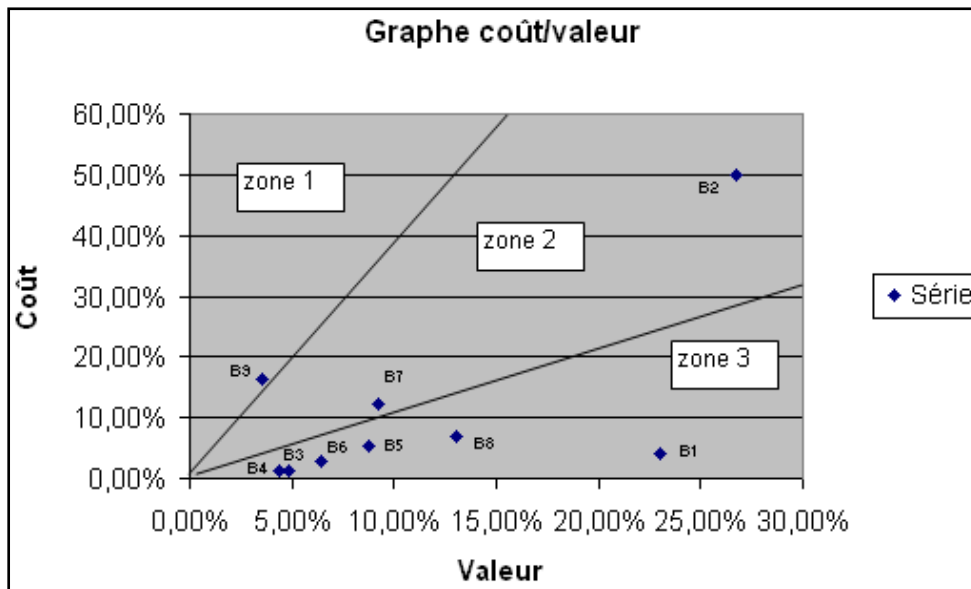


Figure 5: Graphe coût/valeur du besoin projet

Analyse du graphe :

La méthode AHP propose de diviser le graphe de la figure 5 en trois zones pour faciliter son analyse:

- Zone 1 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est élevé (le rapport valeur/coût dépasse 2)
- Zone 2 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est moyen (le rapport valeur/coût entre 0,5 et 2)
- Zone 3 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est faible (le rapport valeur/coût inférieur à 0,5)

Le besoin B9 se situe dans la zone 1, les besoins B2 et B7 se situent dans la zone 2, tandis que les besoins de B1, B3, B4, B5, B6, B8 se situent dans la zone 3. A partir de ces informations, les responsables d'un projet sont capables de prioriser les besoins suivant le rapport coût/valeur. S'ils choisissent par exemple d'implémenter l'ensemble du besoin à l'exception de B2, B7, B9, alors la valeur du modèle de traçabilité envisagée sera d'environ 80% tandis que son coût sera réduit de 44%.

La figure 6 montre le modèle de traçabilité obtenu par la non prise en compte des besoins B2, B7, B9. Les éléments manquants dans la figure 6 par rapport au précédent (figure 3) sont : Code source, Plan HW, Processus de décision, Décision, Lien d'évolution.

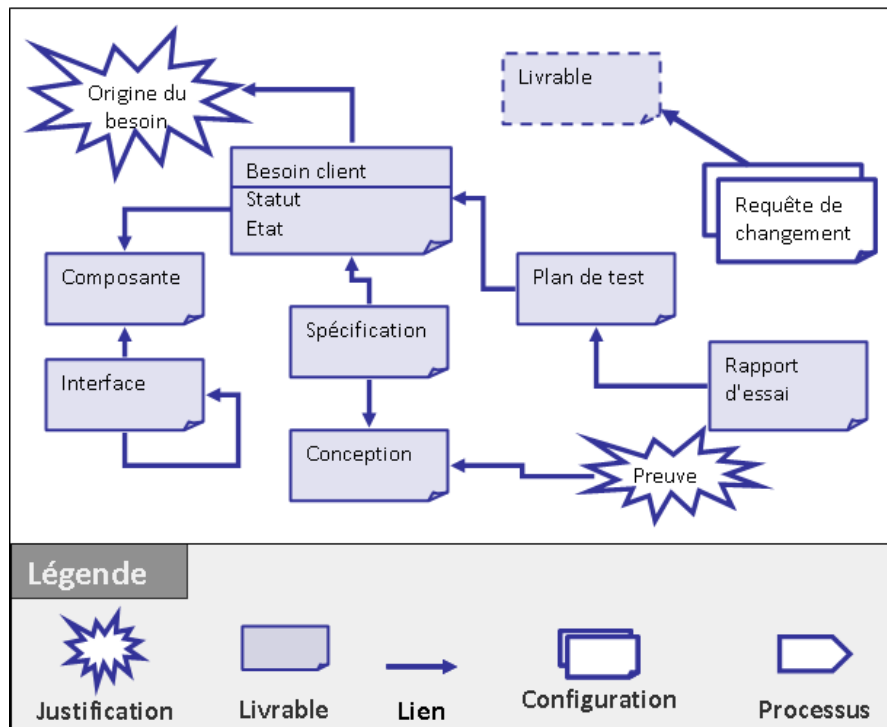


Figure 6: Modèle de traçabilité après optimisation

5 Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une méthode qui permet aux responsables d'un projet d'ingénierie de déterminer, selon les caractéristiques du projet et les besoins des parties prenantes de celui-ci, la structure optimale du modèle de traçabilité. Notre approche adapte la méthode AHP à la problématique spécifique de la traçabilité et repose sur la démarche MV-TMM qui guide la création d'un modèle de traçabilité à partir d'un ensemble de besoins initiaux. Elle a été développée et appliquée dans le cadre d'un projet d'ingénierie industrielle au sein d'une entreprise de construction de matériel médical.

Cette méthode répond à une problématique reconnue dans le domaine de la traçabilité et qui est relative à la difficulté pratique à intégrer la traçabilité dans les processus d'ingénierie. Elle peut être incorporée dans tout processus d'ingénierie, elle nécessite la définition préalable d'une métrique pour l'estimation des coûts des éléments du méta modèle selon le contexte d'usage. Dans le cadre de notre projet, cette métrique a été définie empiriquement selon le contexte de celui-ci et le contexte organisationnel et industriel de l'entreprise STAGO. La

recherche d'un modèle générique pour l'estimation du coût est une des perspectives de notre travail. Un autre travail futur consistera à multiplier l'expérimentation de notre approche pour valider d'une part et affiner d'autre part, l'usage et la pratique de la méthode présentée ici au sein de la démarche MV-TMM.

CHAPITRE 7

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette thèse a abordé la problématique de gestion de la traçabilité des exigences dans un projet. La problématique est caractérisée par sa complexité, la diversité des informations à tracer et le manque de guidage des membres d'un projet.

Nous avons conçu une solution qui résout les problèmes cités ci-dessus et qui propose aux ingénieurs de besoins et aux utilisateurs des informations de traçabilité une démarche leur permettant, d'une part, un guidage dans la spécification et la construction d'un modèle de traçabilité adapté à leurs besoins, et d'autre part, un mécanisme de guidage dans la capture et l'utilisation des informations de traçabilité.

1 Contribution

Après une étude de l'état de l'art dans le domaine de la traçabilité des exigences, nous avons constaté que la gestion de la traçabilité a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. Malgré ces travaux, nous constatons que les entreprises rencontrent encore des difficultés à intégrer la traçabilité dans leurs processus de développement. Cela est dû au manque de mécanisme de représentation des différents types d'informations de traçabilité ainsi qu'à la méconnaissance du processus de traçabilité des exigences dans un projet.

Le travail de cette thèse propose une solution composée de deux éléments principaux : (i) un méta modèle multi vues permettant la représentation des différents types d'informations de traçabilité et (ii) un processus intentionnel décrivant les étapes nécessaires pour la construction et l'usage des informations de traçabilité.

Le méta modèle est multi vues car il représente les différents points de vue d'utilisation des informations de traçabilité dans un projet. En outre, le contenu du méta modèle décrit quatre dimensions liées au domaine de la traçabilité des exigences : la dimension contexte projet, la dimension point de vue, la dimension élément de trace et la dimension de lien de traçabilité.

- Le contexte projet est une dimension qui se préoccupe de la représentation des éléments décrivant le contexte d'un projet. Ces éléments constituent le besoin de traçabilité dans un projet et sont essentiels à la construction d'un modèle de traçabilité adapté à un contexte.
- La dimension point de vue décrit les différentes catégories d'informations de traçabilité dans un projet en les organisant suivant quatre points de vue: le point de vue gestion, le point de vue ingénierie, le point de vue maintenance et le point de vue qualité. Le concept de point de vue permet une prise en compte de tous les cas d'usage des informations de traçabilité dans un projet.
- La dimension élément de trace décrit les éléments du méta modèle qui permettent la construction d'un modèle de traçabilité. Ce sont des éléments abstraits qui nécessitent une instanciation afin de gérer la particularité de chaque projet.
- Le concept de lien de traçabilité se préoccupe de la représentation des différents types de liens de traçabilité entre élément de trace que nous pouvons rencontrer dans un projet. Ils sont des types de liens abstraits que nous devons instancier suivant le contexte de leurs utilisations.

En plus du méta modèle, la démarche MV-TMM propose également un processus composé de deux étapes principales. Une première étape se focalise sur la construction d'un modèle de traçabilité qui s'adapte au contexte d'un projet. La deuxième étape se préoccupe, quant à elle, du guidage de la capture et de l'utilisation des informations de traçabilité.

La première partie de la démarche MV-TMM considère que l'identification du contexte est un préalable à la construction d'un modèle de traçabilité. L'identification du contexte consiste à construire une vue globale de l'environnement d'un projet et la capture du besoin des différents acteurs du projet. Une étape d'analyse de ce contexte est nécessaire afin de spécifier plus de détails sur son contenu, notamment les détails concernant le déroulement des processus, le contenu des livrables, la structure de l'environnement social et technique dans un projet, etc.

La construction du modèle est réalisée en utilisant les éléments du méta modèle MV-TMM. Ce dernier est utilisé comme langage de modélisation des informations de traçabilité.

La deuxième partie de la démarche MV-TMM propose des mécanismes guidant les ingénieurs de besoin et les utilisateurs des informations de traçabilité dans l'exploitation du modèle de traçabilité. Ce guidage est très bénéfique car nous avons constaté dans la pratique que les

utilisateurs ne sont pas généralement initiés au domaine de la traçabilité des exigences. Par conséquent, ils rencontrent beaucoup de difficultés pour exploiter efficacement les données de traçabilité.

L'étude de cas présenté dans cette thèse a permis de montrer la faisabilité de l'approche sur un projet à échelle industrielle. Une analyse rétrospective de cette application a permis de tirer les leçons suivantes :

- La spécification du besoin permet de limiter le périmètre du modèle de traçabilité suivant la situation du projet.
- Le modèle de traçabilité peut être différent selon le chemin choisi dans la carte MV-TMM
- Le mécanisme d'abstraction dans l'approche MV-TMM permet de modéliser le problème de traçabilité d'une façon globale et indépendamment des outils utilisés dans un projet.
- L'utilisation du concept de fragment de modèle permet de décomposer le modèle de traçabilité du projet en fragment plus simples à modéliser.
- L'approche par point de vue permet de répondre aux différents besoins de traçabilité et des différentes situations d'utilisation de la traçabilité dans un projet.
- La démarche MV-TMM intègre plusieurs stratégies qui guident d'une manière efficace les membres d'un projet tout au long du processus de la traçabilité des exigences.

2 Perspectives

Le travail présenté dans cette thèse peut être poursuivi dans plusieurs directions :

- **Évaluation des coûts du modèle obtenu par application de la méthode MV-TMM**

Notre démarche a permis un guidage du processus de la traçabilité des exigences. Elle a introduit une solution au problème d'évaluation du coût d'un modèle de traçabilité. Cependant, nous estimons qu'une étude plus poussée sur le calcul du coût et la valeur des modèles obtenus par application de notre démarche permettra de mieux adapter les modèles aux contraintes des projets. L'estimation du coût doit être générique et adapté à tous les types de projets.

Ce travail d'évaluation demande une prise en compte de plusieurs études de cas afin de caractériser chaque modèle de traçabilité suivant le contexte projet.

- **Enrichissement de la méthode pour prendre d'autres situations d'usage dans un projet**

Notre démarche est basée sur le méta modèle de la carte MAP pour la description du processus. Or, la carte permet une conception de modèle processus multi chemins. Nous pouvons donc ajouter d'autres stratégies afin de compléter le modèle de processus que nous proposons.

Le méta modèle associé à la démarche est également extensible par de nouveaux concepts permettant la description du contexte à d'autres types de projet.

- **Extension des outils de traçabilité existants par développement d'un outil qui supporte la démarche MV-TMM**

La démarche que nous proposons est indépendante des environnements logiciels qui supportent la traçabilité des exigences utilisées dans le commerce. Une extension de ces outils est possible par ajout de deux composantes permettant d'une part, la représentation des éléments du méta modèle MV-TMM et d'autre part, le guidage semi-automatique de la gestion des informations de traçabilité via la démarche MV-TMM.

- **Utilisation des concepts de Web services pour l'automatisation des interactions entre les outils du projet et les outils de traçabilité**

Un outil de traçabilité doit supporter le travail collaboratif dans un projet pour enregistrer les informations de traçabilité qui proviennent de l'environnement logiciel d'un projet.

L'utilisation des services web [W3C, 06] est recommandée, dans ce cas, pour que les outils de traçabilité gèrent la diversité des informations échangées entre les outils utilisés dans un projet. En outre, les outils de traçabilité bénéficieront de ce fait, des avantages de la technologie des services web.

- **Application des concepts de MDA (Model Driven Architecture)**

Les approches de développement dirigées par les modèles (MDA) [MOF, 02] [MDA, 03] [MOF, 04] fournissent des moyens d'automatisation de la création et de la recherche de relation de traçabilité entre modèles de conceptions ou d'analyses. Ils permettent également la maintenance de la consistance entre modèle tout au long du cycle de développement des systèmes.

La caractéristique formelle ou semi formelle des modèles aide à la prise en compte de cette automatisation des liens.

Cette inconsistance entre des modèles, qui représentent en général plusieurs points de vue du système ou différents niveaux d'abstraction, perdure entre toutes les phases de développement. Alors, un mécanisme de gestion de l'inconsistance en modèles devient essentiel pour assurer leurs maintenances [Paige & al., 05].

Le travail de Grundy et al. [Grundy et al., 98] illustrent bien les caractéristiques des différentes approches de gestion de l'inconsistance. Il démontre que certaines inconsistances peuvent être gérées automatiquement, tandis que ce n'est pas facile pour d'autres.

Ainsi, plusieurs travaux ont proposés l'utilisation de la traçabilité afin d'aider à la détection et la notification des inconsistances entre modèles [Desfray, 01] [Huang-Cleland et al., 03] [Olsson et al., 02] [Aizenbud et al., 05].

En résumé, la combinaison des approches dirigées par les modèles avec la traçabilité aide à mieux intégrer les modèles d'analyse et de conception dans un projet.

ANNEXE: LA METHODE AHP (Analytic Hierarchy Process)

Un responsable d'un projet doit identifier, analyser et comparer plusieurs alternatives afin de faire un bon choix et prendre la bonne décision. La méthode AHP fournit aux responsables un moyen d'évaluation de différentes alternatives afin de mesurer le degré de leurs rapprochements par rapport aux objectifs projets. Ainsi, si le moyen d'analyse et d'évaluation est performant alors le résultat sera satisfaisant.

1. ETAPES DE LA METHODE AHP

La méthode AHP est composée de quatre étapes principales que nous illustrerons à travers un exemple de comparaison sur quatre exigences dénommées, Req1, Req2, Req3, Req4.

Etape1: Cette étape propose de construire une matrice avec n exigences en colonnes et de mettre ces mêmes exigences en lignes (n=4 dans notre exemple). L'ordre de la matrice sera donc 4x4.

Etape2: Cette étape propose de comparer les exigences entre elles en utilisant une mesure de comparaisons présentée dans le tableau suivant (Tableau 1).

Valeur	Interprétation
1	Les exigences i et j ont une valeur égale.
3	L'exigence i a une valeur peu élevée par rapport à celle de j.
5	L'exigence i a une valeur plus élevée que celle de j.
7	L'exigence i a une valeur très élevée par rapport à celle de j.
9	L'exigence i a une valeur extrêmement élevée par rapport à celle de j.
2, 4, 6, 8	Ce sont des valeurs intermédiaires entre les valeurs impaires
Réciproques	Si la valeur de i est moins élevée que j

Tableau 1: Echelle de valeur de comparaison

Pour chaque couple d'exigences, en commençant par exemple de Req1 et Req2, l'étape 2 propose d'insérer l'estimation de la *valeur relative* du couple dans la position (Req1, Req2) de la matrice, c'est à dire la ligne de Req1 intersectée avec la colonne Req2.

A la position opposée (Req2, Req1), l'étape 2 suggère de mettre l'inverse de la valeur relative déjà mise dans la position (Req1, Req2). L'étape 2 est répétée de la même manière avec les autres cellules de la matrice.

Dans les positions de diagonales (Req_i, Req_i) $i=1..4$, la valeur est toujours égale à "1".

Pour une matrice d'ordre n , le nombre de comparaisons nécessaires est de $n * (n-1)/2$ comparaisons. Notre exemple doit réaliser six comparaisons.

La figure 1 présente la matrice obtenue dans le cas de notre exemple:

	Req1	Req2	Req3	Req4
Req1	1	1/3	2	4
Req2	3	1	5	3
Req3	1/2	1/5	1	1/3
Req4	1/4	1/3	3	1

Figure 1: Matrice de combinaison binaire

Etape 3: Cette étape propose d'utiliser la valeur moyenne de chaque colonne avant l'estimation de la *valeur propre* de la matrice.

Thomas Saaty [Saaty, 80] propose une méthode simple pour la réalisation de cette estimation (Figure 2). Elle est composée de quatre étapes:

- Calculer la somme des n lignes de chaque colonne de la matrice (par exemple "1+3+1/2+1/4" pour la colonne Req1)
- Diviser chaque case de la matrice par la somme des colonnes dont l'élément appartient
- Calculer la somme des valeurs de chaque ligne (par exemple "0.21+0.18+0.48" pour la ligne Req1)

	Req1	Req2	Req3	Req4	Sum
Req1	0.21	0.18	0.18	0.48	1.05
Req2	0.63	0.54	0.45	0.36	1.98
Req3	0.11	0.11	0.09	0.04	0.34
Req4	0.05	0.18	0.27	0.12	0.62

Figure 2: Transformation de la matrice de combinaison

- i. Normaliser la somme des lignes de la matrice (en les divisant par le nombre d'exigences)

Le résultat de ce dernier calcul est appelé *vecteur de priorité* (Figure 3). Il représente l'estimation de la *valeur propre* de la matrice.

$$\frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 1.05 \\ 1.98 \\ 0.34 \\ 0.62 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.50 \\ 0.09 \\ 0.16 \end{pmatrix}$$

Figure 3: Vecteur de priorité

Etape 4: Cette étape est la dernière de la méthode AHP. Elle propose de donner à chaque exigence sa valeur relative en se basant sur la *valeur propre* de la matrice. A partir du tableau 4 nous pouvons déduire les résultats suivants:

- Req1 contient 26% du total de la valeur des exigences
- Req2 contient 50% du total de la valeur des exigences
- Req3 contient 9% du total de la valeur des exigences
- Req4 contient 16% du total de la valeur des exigences

2. CONSISTANCE DES RESULTATS

Consistance des résultats: si le calcul des valeurs des exigences est déterminé avec précision on dit alors que la valeur propre de la matrice est consistante.

On parle d'inconsistance dans le cas où nous constatons par exemple que l'exigence Req1 a une valeur plus importante que Req2 et que celle-ci a une valeur plus importante que Req3 tandis que celle-ci a une valeur plus importante que Req1.

La méthode AHP permet de mesurer le degré de consistance des résultats en se basant sur le calcul de deux valeurs appelées *indice de consistance* et *rapport de consistance*.

Indice de consistance (CI): la valeur du CI est un premier indicateur d'exactitude de la comparaison binaire réalisée sur la matrice. Elle est calculée par application de la formule suivante: $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$.

λ_{\max} , désigne la valeur propre maximale de la matrice de comparaison

Pour calculer λ_{\max} la matrice doit être multipliée par le vecteur de priorité (voir Figure 4).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 4 \\ 3 & 1 & 5 & 3 \\ 1/2 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/4 & 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.50 \\ 0.09 \\ 0.16 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.22 \\ 2.18 \\ 0.37 \\ 0.64 \end{pmatrix}$$

Figure 4: Multiplication du vecteur priorité par la matrice

Ensuite, la première valeur du vecteur obtenu dans la figure 4 est divisée par la première valeur du vecteur de priorité de la figure 3. Le résultat de ce calcul est présenté dans la figure 5.

$$\begin{pmatrix} 1.22 / 0.26 \\ 2.18 / 0.50 \\ 0.37 / 0.09 \\ 0.64 / 0.16 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.66 \\ 4.40 \\ 4.29 \\ 4.13 \end{pmatrix}$$

Figure 5: Transformation du vecteur priorité

La valeur de λ_{\max} est calculée à partir de la moyenne des valeurs du vecteur obtenu dans la figure 5.

$$\lambda_{\max} = \frac{4.66 + 4.40 + 4.29 + 4.13}{4} = 4.37$$

L'index de consistance (CI) est calculé de la manière suivante:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.37 - 4}{4 - 1} = 0.12$$

Pour connaître si la valeur du CI est acceptable Saaty propose de calculer le *rapport de consistance*.

Rapport de consistance: L'indice de consistance d'une matrice symétrique générée aléatoirement à partir d'une échelle de valeur qui varie entre 1 et 9 est appelé *indice aléatoire* (RI).

Le rapport entre l'indice RI et CI est appelé *rapport de consistance* (RI), il permet de déterminer l'exactitude de la matrice de comparaison.

Le RI d'une matrice d'ordre n est le suivant:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

La première ligne montre l'ordre de la matrice et la deuxième ligne présente le RI correspondant.

Dans le cas de l'exemple de la matrice d'ordre 4, le RI est 0.90. Ainsi le CR de notre exemple est:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.12}{0.90} = 0.14$$

D'une manière générale un CR inférieur à 0.10 est considéré acceptable. Cela signifie que le résultat obtenu dans notre exemple est supérieur à la normale. Dans la plupart des cas le CR dépasse la valeur de 0.10.

REFERENCES

- [**AFNOR, 90**] NF X 50-150. L'Association française de normalisation (AFNOR). 1990.
- [**Aizenbud et al., 05**] Aizenbud-Reshef N., F. Paige R., Rubin J., Shaham-Gafni Y., and D. S. Kolovos, "Operational Semantics for Traceability," ECMDA Traceability Workshop, Nuremberg, Germany (November 2005), pp. 7-14.
- [**Antoniol, 00**] G. Anoniol, G. Canfora, G. Casazza, A. De Lucia, "Information Retrieval Models for Recovering Traceability Links between Code and Documentation", Proceedings of the International Conference on Software Maintenance, 2000, pp. 40-49.
- [**Antoniol et al., 02**] Antoniol G., Canfora G., Casazza G., De Lucia A., and Merlo E., "Recovering Traceability Links between Code and Documentation", IEEE Transactions on Software Engineering, 28, 10, October 2002, pp. 970 - 983.
- [**Antoniol et al. 06**] Antoniol G., Berenback B., Eyged A. E., Ferguson S., Maletic J. M., Zisman A. Z., "Grand Challenges in Traceability " Center of Excellence for Traceability, Technical Report COET-GCT-06-01-0.9, September 10, 2006, disponible au <http://www.traceabilitycenter.org/files/COET-GCT-06-01-0.9.pdf> (accédé le 29/01/2009).
- [**Arkley, 2005**] Arkley P., Riddle S., "Overcoming the Traceability Benefit Problem," Proceedings of the 13th IEEE International Requirements Engineering Conference, 2005, p.385 – 389.
- [**Ascent Logic, 08**] Ascent Logic, <http://www.alc.com>.
- [**Ayed, 05**] BEN AYED Mohamed. "MIME : Méthode d'Ingénierie de Méthodes par Evolution". Thèse de Doctorat, Université de Paris I. Juillet 2005
- [**Benjamin, 99**] Benjamin A. Une Approche Multi démarches pour la modélisation des démarches méthodologiques. Thèse de doctorat en informatique de l'Université Paris 1, 6 octobre 1999.
- [**Bersoff, 97**] Bersoff E.H., "Elements of Software Configuration Management," in Software Engineering, M. Dorfman and R.H. Thayer, eds., IEEE Computer Society Press, 1997.
- [**Borland, 08**] Borland, www.borland.com/us/products/caliber/index.html
- [**Brandenburg et al, 01**] Brandenburg M.; Pohl K.; Strembeck M.: „Goal-driven reuse of experience, guide for traceability usage“, ESAPS-Report (E1.2c/D3.2b), January 2001.
- [**Bretesche, 00**] Bretesche B. La Methode Apte ; Analyse De La Valeur Analyse Fonctionnelle. Editions Petrelle. 2000.
- [**Brinkkemper, 96**] Brinkkemper S., Lyytinen K., and Welke R.J., Eds. Method Engineering: Principles of Construction and Tool Support. Chapman & Hall, London, England, 1996.

- [**Brinkkemper, 01**] Brinkkemper S., Saeki M. and Harmsen, F., 2001, A method engineering language for the description of systems development methods (extended abstract), CAiSE 2001 (eds.K.R. Dittrich, A. Geppert and M.C. Norrie), LNCS 2068, Springer-Verlag, Berlin, 473-476.
- [**Brooks, 87**] Brooks F.P., "No Silver Bullet Essence and Accidents of Software Engineering" IEEE Computer, 20(4), April 1987, p. 10 – 19.
- [**Buckley, 96**] Buckley F.J., Implementing Configuration Management: Hardware, Software, and Firmware, second ed., IEEE Computer Society Press, 1996.
- [**Caliber, 08**] Borland. <http://www.borland.com/>
- [**Chipware, 08**] Chipware, <http://www.chipware.com/>
- [**Cleland-Huang 02b**] Cleland-Huang J., Chang C., Ge Y., "Supporting Event Based Traceability Through High-Level Recognition of Change Events", Proceedings of the 26th Annual International Computer Software and Applications Conference, 2002.
- [**Cleland-Huang, 03a**] Cleland-Huang J., Change C., Christensen M., "Event-Based Traceability for Managing Evolutionary Change" IEEE Transactions on Software Engineering, 29(9), September 2003, p.796- 810.
- [**Cleland-Huang 03b**] Cleland-Huang J., Schmelzer D., "Dynamically Tracing Non- Functional Requirements through Design Pattern Invariants", Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering, in conjunction with IEEE International Conference on Automated Software Engineering, October, 2003.
- [**Cleland-Huang, 04**] Cleland-Huang J., Zemont G., Lukasik W., "A Heterogeneous Solution for Improving the Return on Investment of Requirements Traceability", 12th IEEE International Requirements Engineering Conference, September 2004, pp. 230-239.
- [**Cleland-Huang, 06**] Cleland-Huang J., "Just Enough Requirements Traceability," compsoc,pp.41-42, 30th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'06), 2006
- [**CMMi, 07**] Capability Maturity Model Integration (CMMI), <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/>.
- [**Conklin, 98**] Conklin J., Begeman M.L., "gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion," ACM Trans. Office Information Systems, vol. 6, pp. 303-331, Oct. 1988.
- [**Conradi, 98**] Conradi R., Westfechtel B., "Version Models for Software Configuration Management," ACM Computing Surveys, vol. 30, iss. 2, June 1998.
- [**Cysneiros et al., 03**] Cysneiros F.G., Zisman A., and Spanoudakis G. A Traceability Approach for i* and UML Models. In: Proceedings of 2nd International Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems – ICSE'03. 2003.
- [**Desfray, 01**] Desfray P., MDA--When a Major Software Industry Trend Meets Our Toolset, Implemented Since 1994, White Paper, Softeam (2001), http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA-Softeam-WhitePaper.pdf.
- [**Dick, 05**] Dick J., "Design Traceability" IEEE Software, 38(12), December 2005, p. 14 – 16.

- [Domges et al., 98]** Domges R., Pohl K., "Adapting Traceability Environments for Project Specific Needs", *Communications of the ACM*, vol. 41, pp. 54-63, 1998.
- [Egyed, 01]** Egyed A. "A Scenario-Driven Approach to Traceability," *Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*, Toronto, Canada, May 2001, pp. 123-132 (47 papers out of 268).
- [Egyed, 02]** Egyed A.: A Scenario-Driven Approach to Trace Dependency Analysis, *IEEE Transactions on Software Engineering (TSE)*, Volume 29, Number 2, pp. 116-132.
- [Egyed et al., 02]** Egyed, A. and Grünbacher, P. "Automating Requirements Traceability: Beyond the Record and Replay Paradigm," *Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Automated Software Engineering (ASE)*, Edinburgh, Scotland, UK, September 2002, pp. 163-171 (19 papers out of 94).
- [El Ghazi, 08]** El Ghazi H., "MV-TMM: A Multi View Traceability Management Method" *Proceedings 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications (COMPSAC '08)*, July 28 -Aug. 1 2008, IEEE Computer Society, p. 247 – 254.
- [El Ghazi et al., 08]** El Ghazi H., Assar S., "A multi view based traceability management method" *Proceedings 2nd International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS 2008)*, 3-6 June 2008, IEEE Computer Society, p. 393 – 400.
- [FAA, 06]** Federal Aviation Administration. NAS System Engineering Manual. Version 3.1. 06/06/06.
- [Gotel et al., 94]** Gotel O., Finkelstein A., "An analysis of the requirements traceability problem" *1st IEEE International Conf. on Requirements Eng. (RE'94)*, 1994, p.94 – 101.
- [Gotel et al., 94a]** Gotel O., A. Finkelstein, "An Analysis of the Requirements Traceability Problem", *Proceedings of the 1st International Conference on Requirements Engineering*, 1994, pp. 94-101.
- [Gotel et al., 95]** Gotel, O., Finkelstein, A. "Contribution structures", *Proc. 2nd IEEE Symp. Requirements Eng.*, York 1995, 100-107.
- [Gotel et al., 97]** Gotel O. Finkelstein A., "Extended Requirements Traceability: Results of an Industrial Case Study", *3rd IEEE International Conf. on Requirements Eng. (RE'97)*, 1997, p. 169-178.
- [Gray, 99]** Gray L., "A Comparison of IEEE/EIA 12207, ISO/IEC 12207, J-STD-016, and MIL-STD-498 for Acquirers and Developers" Abelia Corporation, Technical Report, 1999, disponible au http://www.abelia.com/docs/122_016.pdf, (accédé le 29/01/2009).
- [Jarke, 99]** M. Jarke, C. Rolland, A. Sutcliffe, R. Domges (eds) "The NATURE of Requirements Engineering", Shaker Verlag, Aachen, 1999.
- [Hayes, 03]** Hayes J., Dekhtyar A., Osborne J., "Improving Requirements Tracing via Information Retrieval", *11th IEEE Int. Conf. on Requirements Eng. (RE'03)*, 2003, p.138-147.
- [Hauser et al., 1988]** Hauser J.R., D. Clausing, "The House of Quality," *Harvard Business Review*, pp. 63-73, May/June 1988.

- [**Higgins, 03**] S. Higgins, et. al, "Managing Requirements for Medical IT Products", IEEE Software, Vol. 20, No. 1, January/ February 2003, pp. 26-33.
- [**Huffman et al., 05**] Huffman J., Dekhtyar, "Humans in the traceability loop: Can't live with'em, can't live without". Proceedings 3rd International Workshop on traceability in Emerging in conjunction with the 20th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, Long Beach, CA., 2005.pp 20-23.
- [**IEEE, 90**] IEEE Std 610.12-1990, "IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology," [c] IEEE, New York (September 1990).
- [**IEEE, 828-98**] IEEE Std 828-1998, IEEE Standard for Software Configuration Management Plans, IEEE, 1998.
- [**IEEE, 04**] IEEE Computer Society SWEBOK Team, Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK), IEEE, 2004.
- [**INCOSE, 08**] The International Council on systems Engineering (INCOSE), "Tools Survey: Requirements Management Tools", <http://www.paper-review.com/tools/rms/read.php>, 2003.
- [**IRDS, 90**] ISO/IEC International Standard. Information Resource Dictionary System (IRDS) – Framework ISO/IEC 10027, 1990.
- [**ISO9001-00**] ISO 9001:2000, Quality Management Systems — Requirements, ISO, 2000.
- [**Kaindle, 93**] Kaindle H., "The Missing Link in Requirements Engineering," ACM SIGSOFT Software Eng. Notes, vol. 18, no. 2, pp. 30-39, 1993.
- [**Kan, 02**] Kan S.H. Metrics and Models in Software Quality Engineering, second ed., Addison-Wesley, 2002.
- [**Karlsson, 96**] Karlsson J., "Software Requirements Prioritizing" Proceedings of the 2nd International Conference on Requirements Engineering (RE'96), 15-18 April 1996, IEEE Computer Society, p. 110-116.
- [**Karlsson et al., 97**] Karlsson J., Ryan K., "Cost-Value Approach for Prioritizing Requirements." *IEEE Software* 14(5), September/October 1997, p. 67-74.
- [**Knethen, 02**] Knethen A. Von, "Change-Oriented Requirements Traceability. Support for Evolution of Embedded Systems", International Conference on Software Maintenance, Montreal, Canada, October 3-6, 2002.
- [**Kruchten, 03**] Kruchten, P. The Rational Unified Process: An Introduction, 3rd Edition. Addison-Wesley Professional, Reading, MA, 2003.
- [**Marcus et al., 03**] Marcus A., J. I Maletic., "Recovering Documentation-to-Source-Code Traceability Links using Latent Semantic Indexing", in Proceedings 25th IEEE/ACM International Conference on Software Engineering (ICSE'03), Portland, OR, May 3-10 2003, pp. 125-137.
- [**MDA, 03**] MDA Guide Version 1.0.1, OMG Document omg/ 2003-06-01, Object Management Group, Inc. (June 2003).

- [**MOF, 02**] MOF 2.0 Query/View/Transformations RFP, OMG Document ad/2002-04-10, Object Management Group, Inc. (revised on April 24, 2002).
- [**MOF, 04**] MOF Model to Text Transformation Language RFP, OMG Document ad/2004-04-07, Object Management Group, Inc. (revised on May 27, 2004).
- [**Nissen, 99**] Nissen H. W., Jarke M. Repository support for multi-perspective requirements engineering. *Information Systems* 24, 2 (1999), 131-158.
- [**Nuseibeh, 94**] Nuseibeh B. "A Framework for Expressing the Relationship between Multiple Views in Requirements Specification", *IEEE Transactions on Software Engineering* 20, 10, pp. 760-773. 1994.
- [**Oliveto et al., 07**] Oliveto R., Antoniol G., Marcus A., Hayes J., "Software Artefact Traceability: the Never-Ending Challenge" *IEEE International Conference on Software Maintenance*, 2007, (ICSM 2007), 2-5 Oct. 2007, p. 485 – 488.
- [**Olsson et al., 02**] Olsson T., J. Grundy, "Supporting Traceability and Inconsistency Management Between Software Artifacts," *Proceedings of the IASTED International Conference on Software Engineering and Applications*, Boston, MA (November 2002), http://serg.telecom.lth.se/research/publications/docs/99_sea_information_tool.pdf.
- [**Pohl, 96**] Pohl K., "PRO-ART: Enabling Requirements Pre-Traceability", *2nd International Conference on Requirements Engineering*, 1996, pp. 76-85.
- [**Pohl, 1996a**] Pohl K. *Process-Centered Requirements Engineering*. Advanced Software Development Series, J.Wiley & Sons Ltd., Taunton, England, 1996.
- [**Pohl et al, 97**] Pohl K., Domges R., Jarke M., "Towards Method-Driven Trace Capture", *Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Information System Engineering*, 1997, pp.103-116.
- [**Pohl et al., 99**] Pohl K., Weidenhaupt K., Domges R., Haumer P., Jarke M., and Klamma R., "PRIME—Toward Process-Integrated Modeling Environments," *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 8, no. 4, pp. 343-410, Oct. 1999.
- [**Pohl et al., 99**] Pohl K., Weidenhaupt K., Dömges R., Haumer P., Jarke M., Klamma R. *Process-integrated Modelling Environment (PRIME): Foundations and Implementation Framework*, *ACM Trans. Software Engineering and Methodolgy* 8, 4 (1999), 343-410.
- [**Pohl et al., 01**] Pohl K., Brandenburg M., and Gülich A. Integrating Requirement and Architecture Information: A Scenario and Meta-Model Based Approach. In: *REFSQ Workshop*. 2001.
- [**Paige et al., 05**] Paige R., Shaham-Gafni Y., *Model Composition: Development of Consistency Rules*, *Modelware Report D1.5* (September 2005), http://www.modelware-ist.org/index.php?option=com_remository&Itemid=79&func=fileinfo&id=11.
- [**Pressman, 04**] Pressman R. *Software Engineering, A Practitioner's Approach*, fifth ed. McGraw-Hill, 2004.
- [**Ralyté, 01**] Ralyté J., "Ingénierie des méthodes à base de composants", *Thèse de Doctorat*, Université de Paris I, Janvier 2001.

- [**Ramesh et al., 97**] Ramesh, B., Stubbs, C., Powers, T., and Edwards, M.: "Implementing Requirements Traceability: A Case Study", *Annals of Software Engineering* 3 (1997), 397-415.
- [**Ramesh, 98**] Ramesh B., "Factors Influencing Requirements Traceability Practice", *Communications of the ACM*, Vol. 41, No. 12, pp. 37-44, December 1998.
- [**Ramesh et al., 01**] Ramesh B., Jarke M., "Toward Reference Models for Requirements Traceability", *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 58-93, January, 2001.
- [**Rational, 08**] Rational RequisitePro, IBM Corporation, <http://www-306.ibm.com/software/awdtools/reqpro/>.
- [**RDD-100, 08**] Holagent Corporation. <http://www.holagent.com/>
- [**Robertson, 99**] Robertson S., Robertson J. *Mastering the Requirements Process*. Addison-Wesley Professional, Boston, MA, 1999.
- [**Robinson, 94**] Robinson W. and S. Fickas (1994), "Supporting Multi-Perspective Requirements Engineering", In *Proceedings of the IEEE Conference on Requirements Engineering*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, pp. 206-215.
- [**Rolland, 98**] Rolland C., Ben Achour C., Cauvet C., Ralyte J., Sutcliffe A., Maiden N. A. M., Jarke M., Haumer P., Pohl K., Dubois E., and Heymans P. "A Proposal for a Scenario Classification Framework", *Requirements Engineering Journal (REJ)*, Vol. 3, N°1, pp. 23-47, 1998
- [**Rolland, 99**] Rolland C., Prakash N., Benjamin A. "A multi-model view of process modelling" *Requirements Engineering Journal*, 1999, p. 169 – 187.
- [**Rolland, 99e**] Rolland C., Plihon V., Si-Said S. "Engineering Process in NATURE", in "The NATURE of Requirements Engineering", Shaker Verlag, Aachen, 1999, p. 201-230.
- [**Rolland, 03**] Rolland C.. "Ingénierie des Besoins : L'Approche L'Ecritoire", *Journal Techniques de l'Ingénieur (TI)*, 2003.
- [**Saaty, 80**] Saaty T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill, 1980.
- [**Sommerville, 05**] Sommerville I., *Software Engineering*, seventh ed., Addison-Wesley, 2005.
- [**Stehle, 90**] Stehle G., "Requirements Traceability for Real-Time Systems," *Proceedings of EuroCASE II*, London, England (April 1990), pp. 1-27.
- [**SysML, 08**] <http://www.omg.org/spec/SysML/1.1/>
- [**Tdtechno, 08**] Tdtechno, <http://www.tdtechno.com/>
- [**TDC needs, 08**] http://www.tdc.fr/fr/produits/tdc_need.php
- [**Telelogic, 08**] Telelogic, An IBM Company, <http://www.telelogic.com/doors>
- [**UML2.0**] UML 2.0 superstructure final adopted specification. Technical report, Object Management Group, 2004. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ptc/2003-09-15>.
- [**Watson, 03**] Watson R., *Smarter Requirements Management with Intelligent Traceability*, White Paper, Telelogic North America Inc., Irvine, CA (July 2003).

- [**Weigers, 03**] Weigers K., *Software Requirements*. Microsoft Press, Redmond, WA, 2003.
- [**Wieringa, 95**] Wieringa R. J. Traceability and Modularity in Software Design. Proceedings of the 9th international workshop on Software specification and design, p. 87. IEEE Computer Society.1998.
- [**Vitech, 08**] Vitech Corporation, <http://www.vitechcorp.com>
- [**W3C, 06**] <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [**Yu, 95**] Yu E. Modelling Strategic Relationships for Process Reengineering. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Toronto, 1995.
- [**Zimmermann et al., 04**] Zimmermann T., Weissgerber P., Diehl S., and Zeller A., "Mining Version Histories to Guide Software Changes," Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering, Edinburgh, Scotland (2004) pp. 563-572.